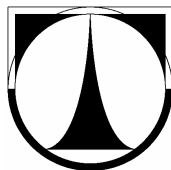


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Studijní program: MN2301 Strojírenství

Obor: 2303 T 002 Strojírenská technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Deformace dílu převodovky MQ 200 po chemicko tepelném zpracování

Deformation of part of transmission MQ 200 after the chemic-thermal treatment

Bc. Petr Bartoníček

KMT - 261

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Karel Daňourek, CSc. - TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Josef Podkovičák - ŠKODA AUTO a.s.

Rozsah práce a příloh :

Počet stran:	53
Počet obrázků:	42
Počet tabulek:	4
Počet příloh:	8 + přiložené CD

Oficiální zadání



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



Fakulta strojní

Katedra materiálu

ANOTACE

Studijní program:	MN2301 Strojírenství
Jméno:	Bc. Petr Bartoníček
Téma práce:	Deformace dílu převodovky MQ 200 po chemicko tepelném zpracování
Číslo DP:	KMT - 261
Vedoucí DP:	doc. Ing. Karel Daďourek, CSc. KMT TU Liberec
Konzultant DP:	Ing. Josef Podkovičák ŠKODA AUTO a.s.

Předložená diplomová práce popisuje proces chemicko tepelného zpracování dílu převodovky MQ 200. Zkoumá vliv dílčí změny procesu chemicko tepelného zpracování na deformace otvoru hnaného kola převodovky. Jako dílčí změna bylo vybráno proudění kalícího oleje.

The thesis describes the process of chemic-thermal treatment of part of transmission MQ 200. It examines the impact of partial change in chemic-thermal treatment process on deformation of hole of driven wheel transmission. As the partial change a streaming of quenching oil was chosen.

Klíčová slova: převodovka MQ 200, cementace, ochlazovací křivky, tepelné deformace, povrchové napětí

Key Words: transmission MQ 200, cementation, cooling curves, thermal deformations, surface stress

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. a Ing. Josefu Podkovičákovi za jejich odborné vedení a všem členům katedry materiálu za jejich cenné připomínky, rady a pomoc, a všem dalším, kteří mi byli při mé diplomové práci jakkoliv nápomocni. Mé díky také patří pracovníkům útvaru kalírny VAP ve firmě ŠKODA AUTO a.s. za pomoc při řešení experimentální části práce.

Prohlášení k využívání výsledků DP:

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. ledna 2010

Podpis:

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část.....	9
2.1	Převodovka v automobilu.....	9
2.1.1	Převodovka MQ200 pro motory Škoda.....	9
2.1.2	Diferenciál.....	10
2.2	Tepelné zpracování materiálu.....	11
2.2.1	Povrch součástí	11
2.2.2	Metody tepelného zpracování.....	12
2.2.3	Pece pro tepelné zpracování	12
2.2.3.1	Rozdělení pecí	12
2.2.3.2	Vsázková pec používaná při experimentech.....	14
2.2.4	Cementace	15
2.2.5	Nitrocementace.....	16
2.2.6	Regulace uhlíkového potenciálu	17
2.2.7	Kalení po cementaci	18
2.2.8	Popouštění	19
2.2.9	CHTZ při experimentech.....	20
2.3	Pnutí a deformace při tepelném zpracování	21
2.3.1	Pnutí	21
2.3.2	Deformace při tepelném zpracování	22
2.3.3	Trhliny.....	23
2.4	Vyhodnocení vlastností a stavu materiálu.....	24
2.4.1	tvrdost materiálu	24
2.4.2	povrchová napětí	26
2.4.2.1	Barkhausenův šum	26
2.4.2.2	Difraktometrie.....	27
2.5	Vyhodnocení vlastností chladicí kapaliny	28
2.5.1	Vlastnosti kalících olejů	28
2.5.2	Průběh ochlazování	29
2.5.3	SmartQuench test.....	30
3	Experimentální část	32
3.1	Výchozí materiál	32
3.2	Sledování procesu CHTZ v delším časovém období	34
3.2.1	Chemicko tepelné zpracování HKR	35
3.2.2	Rozmístění vsázky v peci	36
3.2.3	Sledované technologické parametry CHTZ	37
3.2.4	Měřené charakteristiky HKR	38
3.2.5	Diskuze výsledků	41
3.3	Vyhodnocení dílčích změn procesu	45
3.3.1	Změna proudění kalícího oleje.....	45
3.3.2	Rozložení zkušebních HKR na roštu	46
3.3.3	Diskuze výsledků	46
3.3.3.1	Deformace otvoru.....	46
3.3.3.2	Průběh tvrdosti.....	47
3.3.3.3	Struktura	49
4	Závěr.....	51
5	Použitá literatura	52
6	Seznam příloh.....	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

VAP	výroba agregátu - převodovka
HKR	hnané kolo rozvodovky
CHTZ	chemicko tepelné zpracování
HH	hnaný hřídel
CNC	číslicové řízení počítačem (computer numerical controlled)
VP	vsázková pec
ARA	anizotropní rozpad austenitu
C_p	uhlíkový potenciál
σ	napětí [MPa]
ε	deformace [-]
E	Yangův modul pružnosti [MPa]
A_z	zbytkový austenit
KPO	kontrolní plán operace
CVD	chemická depozice vrstev (Chemical Vapour Deposition)
PVD	fyzikální depozice vrstev (Physical Vapour Deposition)
F	síla [N]
D	průměry kuličky [mm]
kgf	jednotka síly - kilogramme force (1kgf = 9,80665N)
t_k	teplota kalení

1 Úvod

Tepelné zpracování by mělo zaručit dosažení vyžadovaných vlastností materiálu při minimalizaci škodlivých doprovodných jevů, jako je změna tvarů a rozměrů výrobku a snížení kvality povrchu. Dále jsou kladeny podmínky na minimální pracnost, tj. maximální mechanizaci a automatizaci, minimální výrobní náklady. V neposlední řadě také na nízkou ekologickou zátěž životního prostředí. [1]

Teoretická část předložené diplomové práce charakterizuje převodovku MQ 200 pro motory Škoda, rozděluje a popisuje metody tepelného zpracování. Dále zahrnuje popis pnutí a deformací při tepelném zpracování. Na konec jsou uvedeny možnosti měření vlastností materiálu a ochlazovací charakteristiky kalícího média.

V experimentální části je charakterizován výchozí materiál hnaného kola rozvodovky, popsán proces chemicko tepelného zpracování HKR. V další části jsou sepsány výsledky sledování procesu v závislosti na sledovaných parametrech CHTZ. V poslední části je vyhodnocení závislosti dílčí změny procesu na deformaci otvoru. Jako dílčí změna procesu bylo zvoleno proudění kalícího média.

2 Teoretická část

2.1 Převodovka v automobilu

Převodovka v automobilu slouží ke změně převodového poměru mezi motorem a hnací nápravou. Díky tomu je možné efektivně využívat průběh točivého momentu. [3]

2.1.1 Převodovka MQ 200 pro motory Škoda

Převodovka MQ 200 (obr. 2.1) je 5-ti rychlostní (+ 1 zpětná rychlost), mimořádně lehká, převodovka přenášející kroutící momenty až do 200Nm. Skříň je vyrobena z hořčíkové slitiny a je tvořena dvěma částmi, a to skříní převodovky a skříní spojky.



Obr. 2.1: Převodovka 02T (MQ 200) [4]

Při vývoji převodovky MQ 200 byly sledovány především tyto cíle:

- snadné a přesné řazení
- optimální účinnost
- co nejmenší hmotnost
- modulová konstrukce
- možnost použití jednotného lankového řazení

Jednotlivé montážní skupiny byly vytvořeny jako moduly. Modulové provedení zjednodušuje montáž jak při výrobě, tak i v oblasti servisních služeb.

Mezi jednotlivé montážní celky patří vypínací páka spojky, řadicí hřídel s víkem řazení, vnitřní řazení, držák ložiska hnacího a hnaného hřídele. [5]

2.1.2 Diferenciál

Účelem diferenciálu je rozdělení přenášeného krouťícího momentu ze vstupní hnací hřídele na dvě výstupní hnané hřídele při změně poměru jejich otáček. Použití diferenciálu přispívá k lepší přilnavosti vozidla k vozovce, zlepšuje stabilitu, ovladatelnost a snižuje opotřebení pneumatik. [6]

Diferenciál v převodovce MQ 200 (obr. 2.3) tvoří s převodovkou jednu součást. Je uložen ve dvou optimalizovaných kuželíkových ložiskách. Jedno je nalisováno ve skříní převodovky, druhé ve skříní spojky. Hnané kolo rozvodovky je nalisováno a snýtováno se skříní diferenciálu a spárováno s hnaným hřídelem. [5]

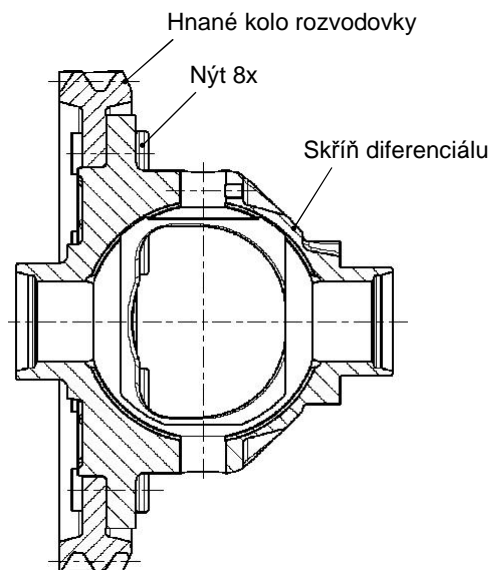
HKR je vyrobeno z cementační oceli TL 4521 a je chemicko tepelně zpracováváno karbonitizací, kalením a popouštěním. Povrch kola musí mít min. tvrdost $\geq 680\text{HV}$, jádro paty zubu $400+100\text{HV}$.

Hnaný hřídel (obr. 2.2) je vyroben ze stejného materiálu jako HKR, tj. TL 4521. HH je chemicko tepelně zpracováván karbonitizací, kalením a popouštěním. Ozubení HH pro spárování s HKR je pevnostně tryskáno. Povrch hřídele musí mít min. tvrdost $\geq 680\text{HV}$, jádro paty zubu $350+130\text{HV}$.

Skříň diferenciálu (obr. 2.3) je vyrobena z materiálu EN 1562-GJMB-550-4. Nýty jsou nakupovány od externího dodavatele, materiálová norma nýtů je Cq35k+GKZ. Pevnost nýtů musí být $630+100\text{MPa}$. [15]



Obr. 2.2: Hnaný hřídel v převodovce MQ 200 [15]



Obr. 2.3: Sestava skříňě diferenciálu v převodovce MQ 200 [15]

2.2 Tepelné zpracování materiálu

2.2.1 Povrch součástí

Životnost a spolehlivost částí, strojů a zařízení jsou podstatnou měrou ovlivňovány stavem povrchu jednotlivých částí, neboť ten je ve styku s okolním prostředím (koroze, erozní a kavitační opotřebení) nebo dochází ke kontaktu povrchů součástí (adhezivní a abrazivní opotřebení, kontaktní únava).

Materiál, i když má nejrůznější vlastnosti, jako celek často nesplňuje požadavky na všech úrovních, proto se přistupuje k řízeným změnám stavu povrchu součástí.

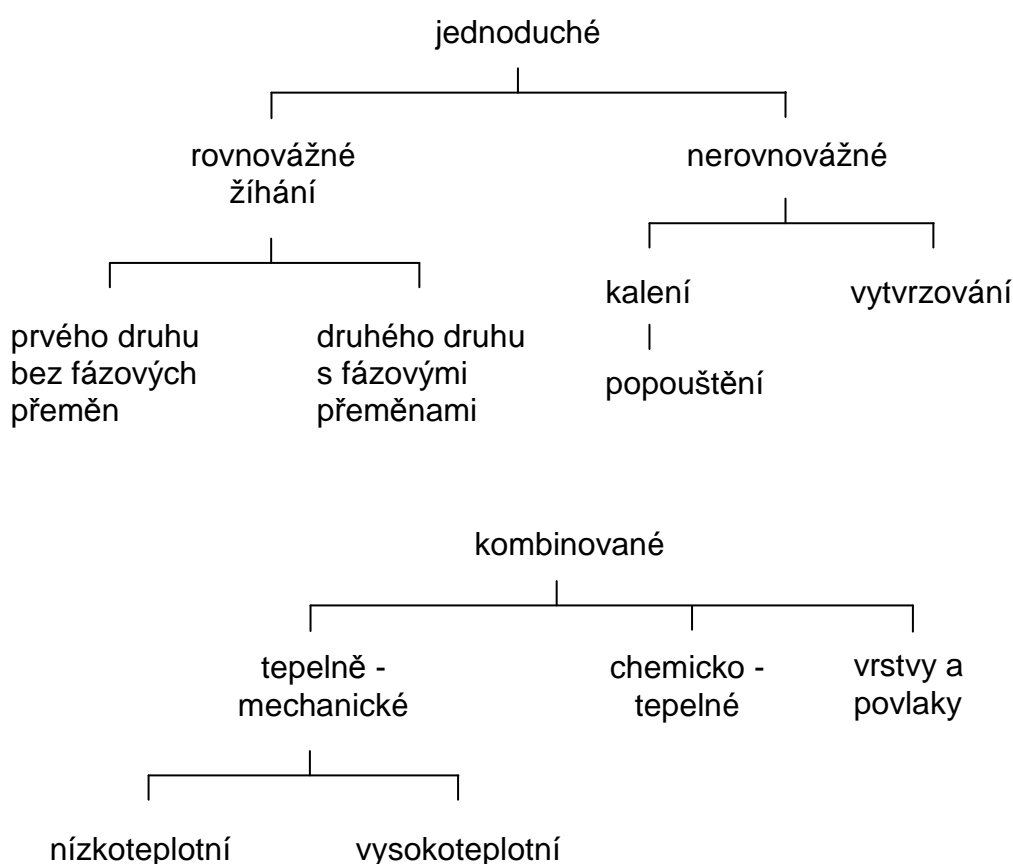
Technologie povrchových úprav lze rozdělit do tří skupin:

- a) modifikace stavu povrchových vrstev : plastická deformace za studena, povrchové kalení, chemicko-tepelné zpracování, fyzikálně-chemické procesy (iontová implantace)
- b) vytváření povlaků na strojních dílech : nanášení chemicky i strukturně odlišných materiálů na podkladový materiál, klasické technologie - návary, nástřiky, galvanické a katalické povlaky a nové technologie - CVD a PVD
- c) kombinace předcházejících postupů (hybridní povlaky) : např. nitridace a následně PVD TiN, nebo IBAD - Ion Beam Assisted Deposition [7]

2.2.2 Metody tepelného zpracování

Tepelné zpracování zahrnuje procesy, při nichž se mění vlastnosti ocelí pomocí vhodně zvolených řízených změn teploty. Znalost podstaty a průběhu fázových přeměn a jejich řízené ovládání umožňuje optimalizovat postupy tepelného zpracování, což v mnoha případech dovoluje získat požadované vlastnosti u úsporněji legované oceli a nahradit tak dražší ocel s vyšší úrovní legování. [2]

Tepelné zpracování se dělí na jednoduché a kombinované, viz obr. 2.4.



Obr. 2.4: Rozdělení metod tepelného zpracování [8]

2.2.3 Pece pro tepelné zpracování

2.2.3.1 Rozdělení pecí

Jednou z důležitých podmínek pro dosažení kvalitních a reprodukovatelných výsledků tepelného zpracování je výrobní zařízení. Tato zařízení mohou být velmi rozmanitá a závisí nejen na druhu tepelného

zpracování, ale i na druhu výroby, velikosti a tvaru výrobků, požadované přesnosti, optimalizaci a dostupnosti energetického výkonu. Obsluha pece má být jednoduchá a její provoz čistý, spolehlivý a hospodárný.

Rozdělení pecí můžeme provádět z několika hledisek:

- druhu otopu - palivové
 - elektrické
- výše teploty - nízkoteplotní do 600°C
 - středně teplotní od 600 do 1100°C
 - vysokoteplotní nad 1100°C
- atmosféry v pecním prostoru
 - s atmosférou normální (vzduch)
 - s atmosférou řízenou
 - vakuové
- pohybu vsázky
 - stabilní s přerušovaným provozem
 - průběžné
- technologického postupu
 - popouštěcí
 - žíhací
 - víceúčelové
 - pro chemicko-tepelné zpracování

Základní části pece jsou vyzdívka, ocelová konstrukce, topný systém, manipulace s materiálem, regulace, měření, automatizace. Účelem vyzdívky pece je odolávat tepelnému a mechanickému namáhání v pracovním prostoru a snížení tepelných ztrát při provozu. Ze žárovzdorných materiálů se u pecí pro tepelné zpracování nejvíce používá šamotu a jeho odlehčených modifikací. Pro zvláštní účely se používá speciálních keramických materiálů. Ocelová konstrukce pece je základním stavebním prvkem, který bezpečně zachycuje všechny váhy a síly, a současně určuje vzhled pece. Pro stavbu pecí u součástí namáhaných do 400°C se obvykle používá konstrukčních ocelí třídy 11, eventuálně šedé litiny. U výše tepelně namáhaných dílů přichází v úvahu žárovevné a žárovzdorné oceli. [1]

2.2.3.2 Vsázková pec používaná při experimentech

Experimenty byly prováděny v komorové peci firmy Aichelin o velikosti využitelného prostoru 700x1300x850cm.

Jedná se o víceúčelovou komorovou pec použitelnou pro malé a střední objemy vsázek různých druhů součástí. VP Aichelin jsou plně automatické, vysoce flexibilní ke změnám různých procesů tepelného zpracování, lze v nich provádět kalení, cementaci, nitrocementaci, žíhání, popouštění.



Obr. 2.5: Komorová pec Aichelin [14]

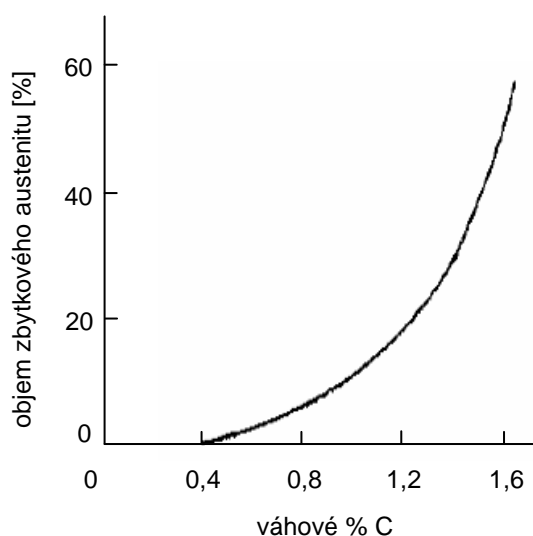
Konstrukční rysy VP Aichelin:

- všechny pohon je elektrický
- teplotní homogenost v peci $\pm 5K$
- objem olejové lázně je 6000l (zaručí malé zvýšení teploty při kalení)
- cirkulace oleje
- topný systém - sálavé trubky s nízkým povrchovým zatížením ze žáruvzdorné oceli, slinutých karbidů nebo keramiky
- dlouhá životnost, vytápění plynem nebo elektricky [14]

2.2.4 Cementace

Při cementaci do povrchu oceli difunduje uhlík ve formě intersticiální příměsi. Hloubka sycení se pohybuje od několika desetin milimetrů po 1 mm, v některých případech až 2 mm. Nauhličená vrstva je stanovována jako tloušťka, v níž je tvrdost HRC nad 50. Difuzi uhlíku zhoršuje přítomnost legovacích prvků. Množství uhlíku a hloubka nauhličení jsou závislé na době a teplotě sycení.

Teplota cementace se pohybuje nad teplotou A_3 (tj. 850 až 950°C). Použití nižší teploty, při které se vyskytuje ferit, není vhodné, protože rozpustnost uhlíku ve feritu je příliš nízká. S rostoucí teplotou cementace roste rychlost nauhličení. Cementací vznikne tvrdá povrchová vrstva materiálu, ale při naduetektoidním obsahu uhlíku silně roste množství zbytkového austenitu v oceli, který je měkký. (obr. 2.6). [9]

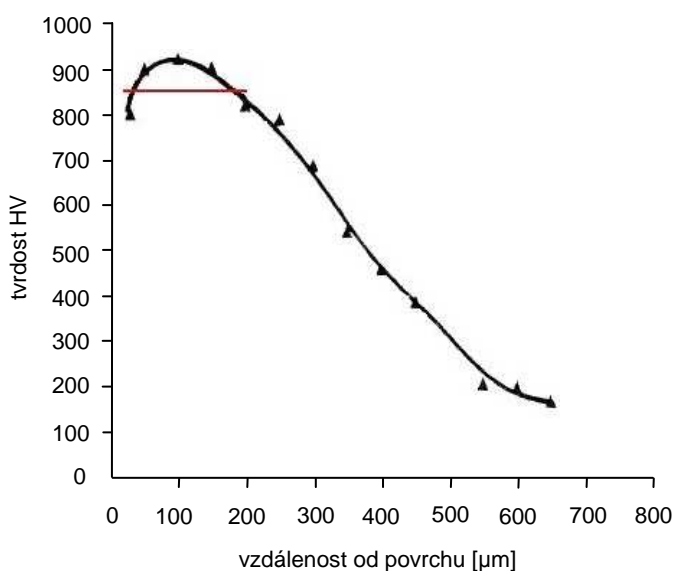


Obr. 2.6: Graf závislosti objemu zbytkového austenitu na množství uhlíku [9]

Nejproduktivnější metodou cementace je nauhličování v plynném prostředí. Cementace ve směsi plynů probíhá při atmosférickém tlaku. Mezi aktivní atmosféry patří endoatmosféra nebo rozložený metanol. Endoatmosféra vzniká nedokonalým spalováním metanu nebo propanu. Nedokonalé spalování je zapříčiněno omezením množství potřebného vzduchu. Metanol se štěpí katalyticky v čistém dusíku a má složení 40% dusíku, 40% vodíku a 20% oxidu

uhelnatého. Obě atmosféry jsou podobné, akorát rozložený metanol má oproti endoatmosféře méně stop kyslíku a vlhkosti. [9]

Na obr. 2.7 je znázorněna závislost tvrdosti po cementaci na vzdálenosti od povrchu. U povrchu je nižší tvrdost způsobena vyšším obsahem uhlíku, tj. nadeutektoidním množstvím, které způsobuje vznik většího množství zbytkového austenitu. Vyšší množství uhlíku může také vést ke vzniku cementitového síťoví. K vyrovnaní množství uhlíku u povrchu se využívá difuzní periody, tj. výdrž na cementační teplotě, ale bez nauhličující atmosféry. Změnu tvrdosti po difuzní periodě znázorňuje červená čára na obr. 2.7. Výdrž na teplotě také zvětší hloubku cementace. [9]



Obr. 2.7: Graf závislosti tvrdosti materiálu na vzdálenosti od povrchu [9]

2.2.5 Nitrocementace

Pro urychlení difúze uhlíku do oceli se používá nitrocementace. Při této metodě současně s uhlíkem proniká do oceli malé množství dusíku. Cementační aktivní atmosféra je obohacena o zdroj dusíku, zpravidla o malé množství čpavku. Množství dusíku je velmi malé, dusík se rozpustí v austenitu a ve struktuře oceli není pozorovatelný. Po nitrocementaci musí následovat kalení, případně popouštění, stejně jako po cementaci. [9]

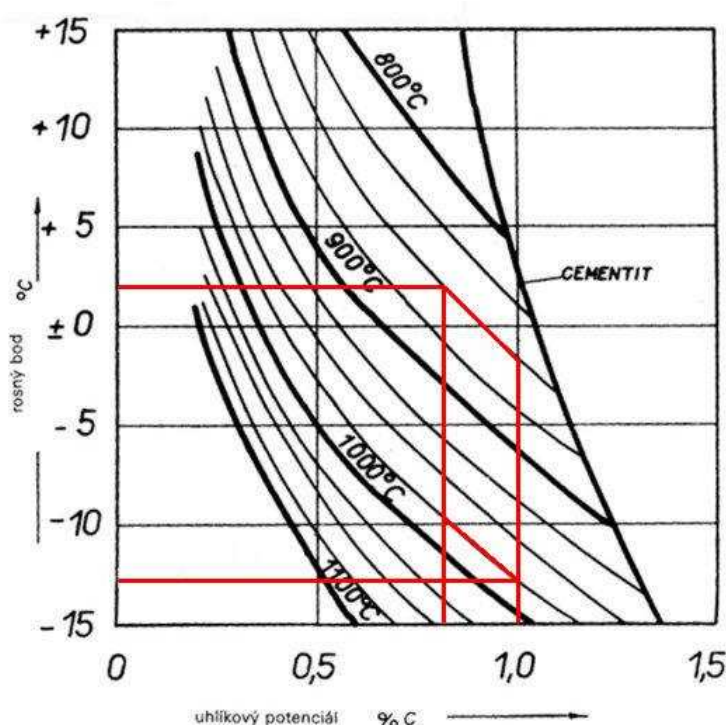
Teploty nitrocementace jsou nižší než teploty cementační, ale vyšší než teplota A_3 . Nitrocementace ozubených kol je doprovázena podstatně menšími

deformacemi než cementace. Malá deformace souvisí s nižší teplotou pochodu, menší tloušťkou vrstvy a s rovnoměrnějším rozložením vnitřních pnutí 1. druhu. Nitrocementovaná ozubená kola mají větší odolnost proti opotřebení otěrem, projevuje se zde specifický účinek dusíku na třecí vlastnosti. [1]

2.2.6 Regulace uhlíkového potenciálu

Při procesu cementace je důležitá regulace množství uhlíku v plynném prostředí. Toto množství se vyjadřuje uhlíkovým potenciálem atmosféry, který se určuje:

z rosného bodu - uhlíkový potenciál se určí dle zarosení při ochlazení vzorku nauhličující atmosféry. Z obr. 2.8 je patrné, že rosný bod je nutné udržovat v rozmezí -13 až +2°C. Čidla se dnes obvykle používají polovodičová. Tato metoda je nevhodná při kolísající vlhkosti vzduchu.



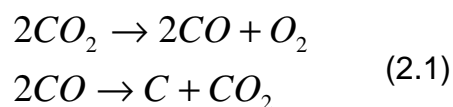
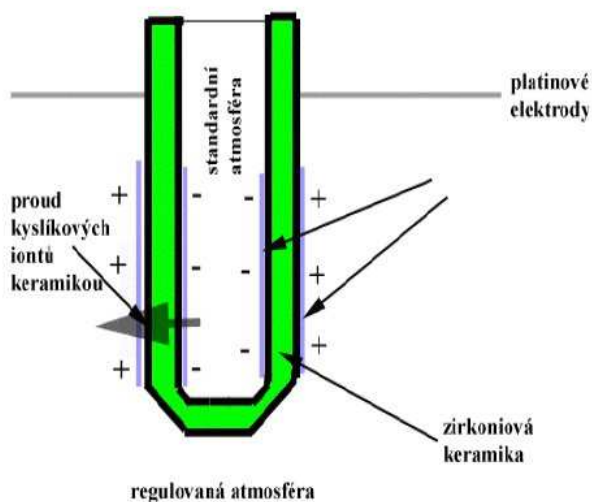
Obr. 2.8: Diagram závislosti rosného bodu na C potenciálu a teplotě [9]

z údajů kyslíkové sondy - kyslíková sonda udává množství kyslíku v atmosféře. Využívá vlastností tuhého elektrolytu ZrO_2 , kterým mohou procházet ionty kyslíku (obr. 2.9). V závislosti koncentrace kyslíku uvnitř a vně sondy vzniká na elektrodách potenciál o velikosti 1100 až 1200mV. Její údaje jsou silně závislé

na termodynamické rovnováze atmosféry. Z probíhajících reakcí (vztah 2.1)

mohu pomocí reakčních konstant
dopočítat uhlíkový potenciál.

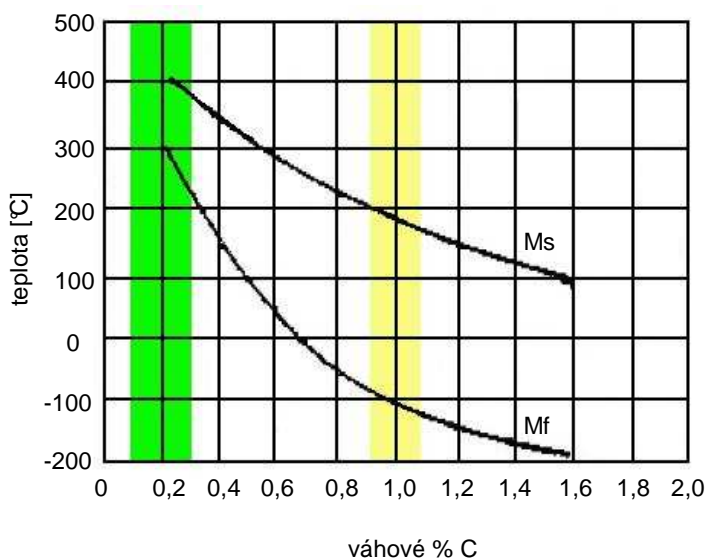
Reakční konstanty jsou závislé na
teplotě, z tohoto důvodu musí být
zároveň přesně měřená teplota.



Obr. 2.9: Kyslíková sonda [9]

2.2.7 Kalení po cementaci

Nasycením povrchu na vyšší procento uhlíku, než je v jádře, se změní
teplota počátku a konce martenzitické přeměny (obr. 2.10). Zelený pruh
znázorňuje oblast kalících teplot cementačních ocelí, žlutý pruh znázorňuje
oblast kalících teplot cementovaných vrstev. [9]



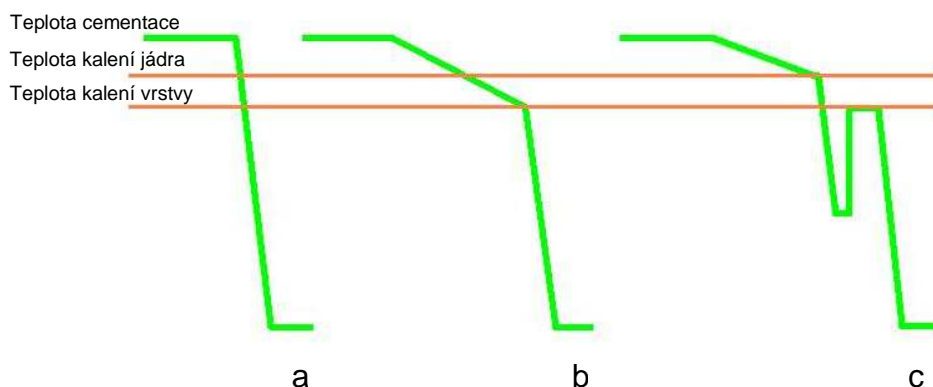
Obr. 2.10: Graf závislosti kalící teploty na množství uhlíku [9]

Dle teploty, z které se nauhličená ocel kalí, se rozlišují 3 metody kalení:

Přímé kalení (obr. 2.11/a) - kalí se přímo z cementační teploty do vody nebo oleje. Cementační teplota (tj. 850 až 950°C) je pro kalení, jak na uhlíčené vrstvy tak i jádra, příliš vysoká. Struktura po přímém kalení je hrubozrnná a křehká. Metoda je ale nejlevnější, používá se pro podřadné účely.

Kalení na vrstvu (obr. 2.11/b) - součást se po cementaci nechá v peci pomaleji vychladnout na teplotu kalení vrstvy. Vrstva má optimální vlastnosti, ale jádro je hrubší a křehčí. Metoda kalení na vrstvu je optimálním řešením kvality a ceny kalení po cementaci, a z tohoto důvodu také nejvíce používaná.

Dvojité kalení (obr. 2.11/c) - součást se po cementaci nechá vychladnout na teplotu kalení nízkouhlíkového jádra. Poté se ohřeje, tentokrát pouze na kalicí teplotu uhlíkové vrstvy, a znovu zakalí. Druhým ohřevem dojde v jádře k vysokoteplotnímu popouštění. Struktura vrstvy je optimální a v jádře zůstane směs nízkouhlíkového martenzitu a malého množství vysokouhlíkového martenzitu. Tato metoda je nejdražší z uvedených a také tu dochází k větším deformacím z důvodu dvojitého kalení. [9]



Obr. 2.11: Křivky chlazení při kalení po cementaci [9]

a) přímé; b) na vrstvu; c) dvojité

2.2.8 Popouštění

Cílem popouštění je provést rozpad martenzitu i zbytkového austenitu a získat strukturu, která bude mít nižší tvrdost a pevnost a vyšší charakteristiky houževnatosti, odstranit vnitřní pnutí a křehkost.

Dle teplot rozdělujeme popouštění na:

Stabilizační - při 100 - 180°C po velmi dlouhou dobu (30 - 150h). Stabilizační popouštění je vhodné pro měrky a ložiska.

Za nízkých teplot - při 120 - 250°C po krátkou dobu (1 - 2h), používané pro nástrojové oceli a cementované vrstvy. Nízkoteplotním popouštěním se sníží zbytkové pnutí, množství ZA, ale bez podstatného snížení tvrdosti.

Za středních teplot - při 350 - 450°C používané pro pružinové oceli. Složení oceli potlačuje vznik dolní křehkosti, která při těchto teplotách hrozí. Popouštěním za středních teplot se dosáhne vysoké meze pružnosti.

Za vysokých teplot, nebo-li zušlechtění - při 450 - 650°C po dobu několika hodin, používané pro konstrukční oceli. Vysokoteplotním popouštěním klesne tvrdost a pevnost na hodnotu feriticko-perlitické struktury, ale zvýší se houževnatost a mez kluzu.

Při popouštění hrozí vznik popouštěcí křehkosti, nehrozí však u všech ocelí, záleží na chemickém složení. Křehkost se opět rozděluje dle teplot:

Nízkoteplotní křehkost - vzniká při výdrži na teplotě okolo 350°C a je neodstranitelná. Opatření proti vzniku nízkoteplotní křehkosti je nezůstávat na teplotě 350°C.

Vysokoteplotní křehkost - vzniká při pomalém ochlazování z vyšších teplot, lze odstranit opětovným ohřevem na 600°C a rychlým ochlazením. Příčinou vzniku křehkosti je segregace nečistot P, Sb, Sn, As. Potlačit vysokoteplotní křehkost lze snížením obsahu křehkých nečistot, zvýšením obsahu Mo o 0,2% a rychlejším ochlazením přes kritický interval 500 - 550°C. [9]

2.2.9 CHTZ při experimentech

Při experimentech byl v komorové peci Aichelin použit proces nitrocementace, uhlíkový potenciál byl regulován pomocí kyslíkové sondy. Po cementaci následovalo kalení na vrstvu. Vsázka byla popouštěna za nízkých teplot. Podrobnější informace o teplotách, časech a složení pecní atmosféry jsou uvedeny v experimentální části.

2.3 Pnutí a deformace při tepelném zpracování

2.3.1 Pnutí

V technologické praxi se setkáváme s řadou případů, kdy ve výrobku vznikají vnitřní pnutí. Vedle tepelného a chemicko tepelného zpracování jde i o důsledek intenzivního tváření za studena, obrábění, svařování, odlévání, povlakování.

Z hlediska časového působení vnitřních pnutí rozeznáváme:

- dočasné: působí, pokud trvá příčina, která je vyvolala
- zbytkové: přetrvává i po odstranění vnějšího impulsu

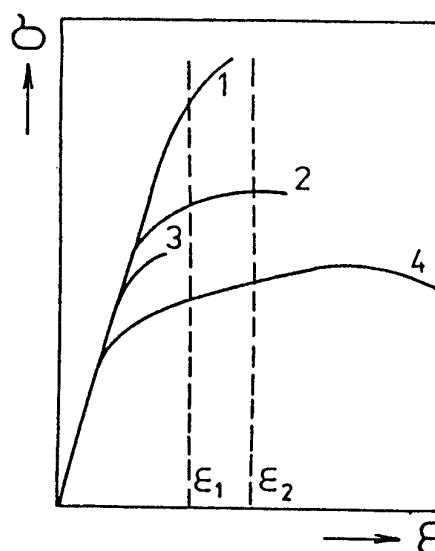
Zbytková pnutí klasifikujeme dle příčin vzniku:

- tepelná: různé teplotní gradienty uvnitř výrobku, rozdílné teplotní koeficienty roztažnosti jednotlivých částí výrobku
- deformační: obrábění
- strukturální: nehomogenní strukturální transformace

Pro elastická pnutí σ obecně platí Hookeův zákon (vztah 2.2), který říká, že úroveň pnutí je závislá na elastické deformaci ε vyvolané objemovými změnami ve výrobku. Dále je pak pnutí funkcí modulu pružnosti E . [1]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.2)$$

Na obr. 2.12 je zobrazena závislost napětí na deformaci pro různě tepelně zpracované oceli. Při stejné hodnotě deformace ε_1 vede úroveň vnitřních pnutí k lomu pouze u oceli kalené z vysoké teploty. Při nárůstu deformace na ε_2 se poruší i ocel kalená správně. Větší plastická schopnost popuštěné a žíhané oceli snižuje náchylnost oceli k trhlinám.



Obr. 2.12: Graf deformační závislosti oceli [1]

1) kalená; 2) popouštěná; 3) kalená z vysoké teploty; 4) žíhaná

Vnitřní pnutí u oceli je tím větší, čím menší je tepelná vodivost a prokalitelnost, čím větší je tepelná roztažnost a objemové změny při tvoření martenzitu. Vnitřní pnutí jsou tím větší, čím byla nedokonalejší austenitizace a nerovnoměrnější prohřátí výrobku. Vnitřní pnutí vzrůstá, zvětšuje-li se rozdíl teplot mezi kalenou součástí a kalícím prostředím a zvyšuje-li se rychlost ochlazování v kalícím prostředí.

Vedle deformace výrobku způsobují zbytková pnutí změnu elektrochemického potenciálu, tím klesá korozivzdornost. Zbytková pnutí také vedou ke změnám magnetických a elektrických vlastností. [1]

2.3.2 Deformace při tepelném zpracování

Změny tvaru a rozměrů výrobků jsou průvodními jevy při tepelném zpracování. I když se jedná o změny nežádoucí, nelze je zcela odstranit. Deformace můžeme rozdělit na změny objemové a změny tvaru.

Objemové změny jsou vyvolány zvětšením nebo zmenšením objemu v důsledku fázových změn. Austenitizace je spojena s objemovým smrštěním, martenzitická přeměna s objemovým nárůstem. Velikost rozměrových změn tedy souvisí s obsahem uhlíku v martenzitu (s rostoucím obsahem uhlíku rozměrové změny vzrůstají) a s podílem zbytkového austenitu A_z po kalení (s rostoucím obsahem A_z jsou objemové přírůstky menší). Přírůstek rozměrů po kalení se zmenšuje popouštěním. U vysokolegované oceli může dojít k dalšímu zvětšení rozměrů vlivem rozpadu A_z .

Větší výrobní potíže působí tvarové změny výrobků, které jsou způsobeny nerovnoměrným rozložením tepelných a transformačních pnutí. Velikost a výskyt tvarových změn je ovlivněn řadou faktorů od konstrukčního návrhu až po vlastní tepelné zpracování. Výskyt deformací je vnějším projevem rozložení a velikosti vnitřních pnutí.

Vnitřní pnutí a tím i deformace závisí na:

- druhu a vlastnostech oceli
- podmínkách austenitizace
- podmínkách kalení
- velikosti a tvaru výrobku

Podstatný vliv na velikost deformací event. vznik trhlin má tvar a rozměr kalených výrobků. Se zvětšujícím se rozměrem se zvětšují rozdíly teplot na povrchu a v jádře. Pro kalení jsou nevhodné rozdílné průřezy, náhlé přechody, ostré hrany, rohy a otvory.

Tvarové a rozměrové změny se po tepelném zpracování odstraňují broušením, v některých případech rovnáním, jindy je nutno součást překalit. [1]

2.3.3 Trhliny

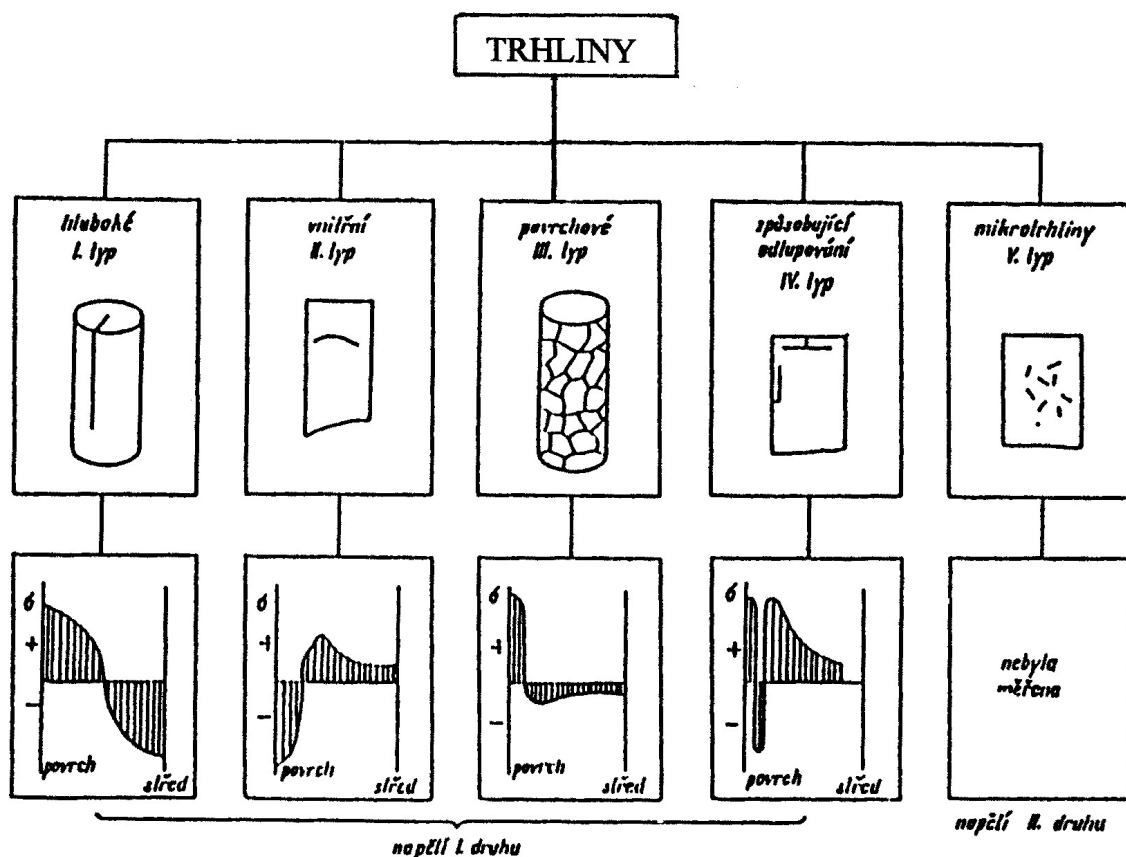
Převyší-li výše pnutí kohezní pevnost nejslabšího místa součásti, vznikne trhlina. Ke vzniku trhlin může docházet jak na povrchu, tak i pod povrchem tepelně zpracovávaného výrobku. I když základním předpokladem pro zabránění vzniku trhlin je správná volba a dodržování technologického postupu, mohou být jejich příčinou i chyby zděděné z předcházejících etap výroby (záměna materiálu, skryté a strukturní vady, konstrukční nedostatky).

Dle charakteru rozložení napětí se rozlišuje 5 typů trhlin (obr. 2.13):

1. typ - hluboké trhliny vycházející z povrchu výrobků, nejčastěji podélného směru. Případná odchylka průběhu trhliny bývá způsobena tvarovým činitelem. Směr trhlin ukazuje, že jsou způsobeny napětími tangenciálními.
2. typ - vnitřní, obloukovité trhliny - většinou v rozích předmětu v určité vzdálenosti od povrchu, mohou však pronikat až na povrch. Vznikají nejčastěji v neprokalených nebo cementovaných výrobcích. Přednostní výskyt trhlin v blízkosti hran je způsoben trojosým stavem napjatosti.
3. typ - povrchové trhliny zasahující do hloubky 0,01 až 2 mm. Na povrchu výrobku vytváří síťoví, které nesouvisí s tvarem výrobku ani s koncentrátory napětí (vruby). Příčinou jsou značná tahová pnutí v tenké povrchové vrstvě, která vytvářejí dvouosý stav napjatosti - vznikají zejména v cementovaných součástech.
4. typ - trhliny způsobující odlupování povrchové vrstvy (např. při broušení), trhliny v blízkosti svarového spoje nástrojů z rychlořezné oceli, některé trhliny při indukčním kalení apod.

5. typ - mikrotrhliny, které na rozdíl od předchozích typů (vznikajících od makroskopických pnutí) se tvoří vlivem mikroskopických pnutí (např. trhliny v jehlicích martenzitu).

Uvedené rozdělení trhlín nezahrnuje trhliny, jejichž průběh je ovlivněn změnami průřezu a vruby. Vruby zvětšují náchylnost výrobku ke vzniku trhlín, ale nemění charakteristický vliv technologických a metalurgických ukazatelů na vznik trhlín předchozích typů. [1]



Obr. 2.13: Typy trhlín vznikajících při tepelném zpracování a jejich souvislost s charakterem rozložení napětí [1]

2.4 Vyhodnocení vlastností a stavu materiálu

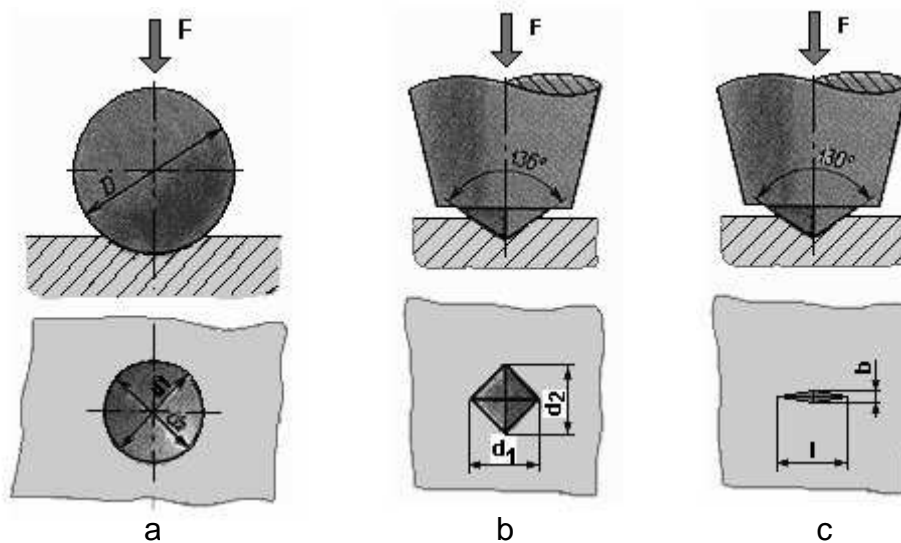
2.4.1 tvrdost materiálu

Podle hodnoty tvrdosti lze odhadnout také další vlastnosti materiálu. V hojně míře se pro tyto účely používají empirické koeficienty. Základní metody pro vyhodnocování tvrdosti jsou:

dle Brinella - do zkušebního tělesa se silou F vtlačuje kulička o průměru D z kalené oceli nebo slinutých karbidů. Po odlehčení se měří 2 na sebe kolmé průměry vtisku.

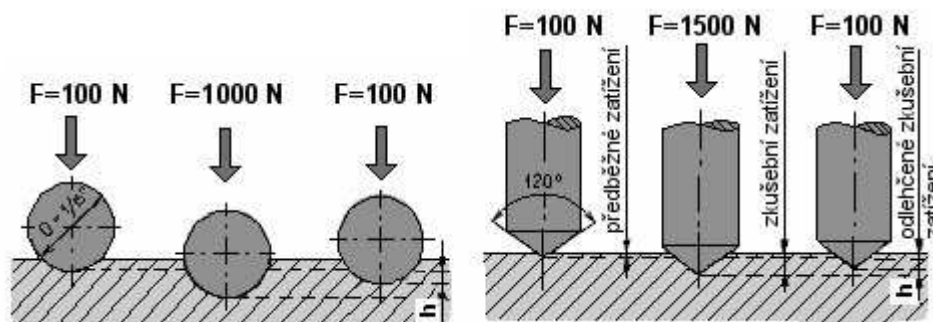
dle Vickerse - do zkušebního tělesa se silou F vtlačuje diamantový pravidelný čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° . Po odlehčení se měří délka obou úhlopříček vtisku. Metoda dle Vickerse lze použít pro všechny tvrdosti, je velmi přesná a minimálně závislá na zatížení.

dle Knoop - používá se pro měření mikrotvrdosti. Do zkušebního tělesa se silou F vtlačuje diamantový čtyřboký jehlan o vrcholových úhlech 130° mezi dvěma stěnami a $172,5^\circ$ mezi druhými dvěma stěnami. Metoda dle Knoop je vhodná pro plastové desky, tenké kovové desky, křehké materiály nebo pro materiály, u kterých nesmí být použita síla větší než 3,6 kgf.



Obr. 2.14: Měření tvrdosti dle [10]
a) Brinella; b) Vickerse; c) Knoop

dle Rockwella - do zkušebního tělesa se vtlačuje diamantový kužel o vrcholovém úhlu 120° nebo ocelová kulička. Měří se rozdíl hloubky vtisku indentoru mezi dvěma stupni zatížení. Metoda dle Rockwella je rychlá, snadná a vpichy jsou velmi malé, z těchto důvodů je vhodná pro běžnou kontrolu velkých sérií výrobků. [10]



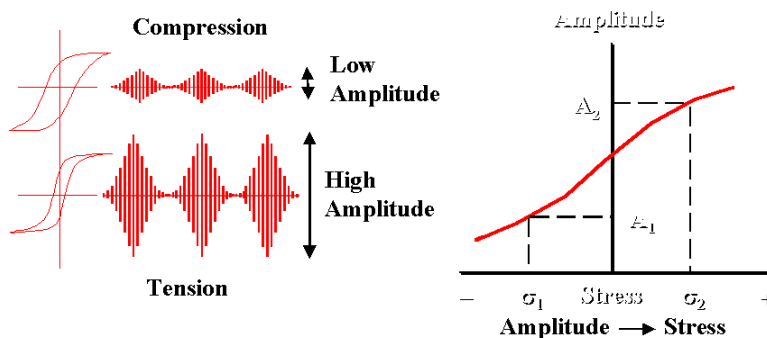
Obr. 2.15: Měření tvrdosti dle Rockwella [10]

2.4.2 povrchová napětí

2.4.2.1 Barkhausenův šum

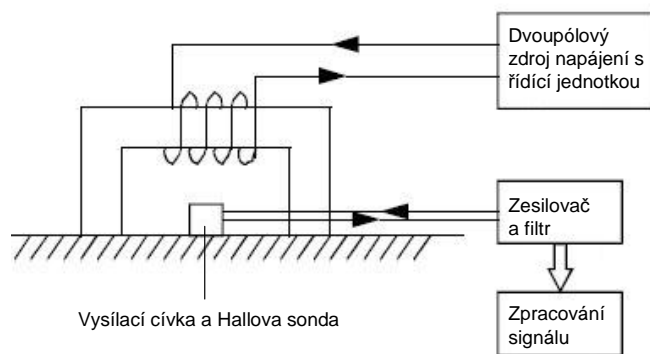
Barkhausenův šum se používá k detekci strukturních a napětových změn v materiálech po obrábění či tepelném zpracování.

Velikost Barkhausenova šumu (obr. 2.16) se zvyšuje s tahovými napětími kvůli vyšší hustotě 180° Blochových stěn. Naopak napětí v tlaku vedou ke snížení síly šumu kvůli vyšší hustotě 90° Blochových stěn ve směru magnetizování.



Obr. 2.16: Závislost amplitudy Barkhausenova šumu na vnitřním pnutí [11]

Princip metody (obr. 2.17): Vidlice ve tvaru U je vybuzená cívkou připojenou k dvupólovému zdroji energie. Orientací pólů je stanovený směr magnetického pole a může být naměřena tomu odpovídající složka napětí. Budicí frekvence (1 až 160Hz) ovlivňuje hloubku, v které mohou být napětí objevena. Barkhausenův šum je snímán vysílací cívkou, koercitivní síla je měřena Hallovou sondou. Oba signály jsou zesílené, filtrované a vyhodnocené v mikromagnetickém zkušebním systému. [11]



Obr. 2.17: Schéma senzoru Barkhausenova šumu [11]

2.4.2.2 Difraktometrie

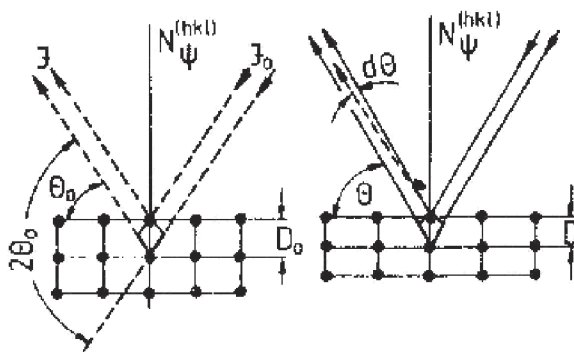
Difraktometrie využívá k detekci pružných deformací rentgenových paprsků.

Vlnové délky čar charakteristického RTG spektra jsou srovnatelné s rozměry krystalové mřížky pevných látek a tedy vhodné pro jejich studium. Na řadách atomů dochází k rozptylu rentgenového záření, přičemž maxima intenzity jsou ve směrech, které odpovídají známému Braggovu zákonu (vztah 2.3).

$$2d \cdot \sin \Theta = n \cdot \lambda \quad (2.3)$$

kde d je mezirovinná vzdálenost, Θ je úhel dopadu, λ vlnová délka záření a n řád difrakce.

Při pružné deformaci dojde u rovin kolmých na směr deformace ke změně mezirovinné vzdálenosti a tedy i ke změně úhlu (obr. 2.18). Z této úhlové změny se pak dá odvodit napětí potřebné k vyvolání odpovídající deformace z Hookova zákona. Prostorově je problém daleko složitější jak z hlediska difrakce, tak i z hlediska rozložení napětí. Důležité však je, že v polykrystalu je obvykle dostatečný počet zrn, která jsou vhodně orientována a poskytují odpovídající signál. [11]



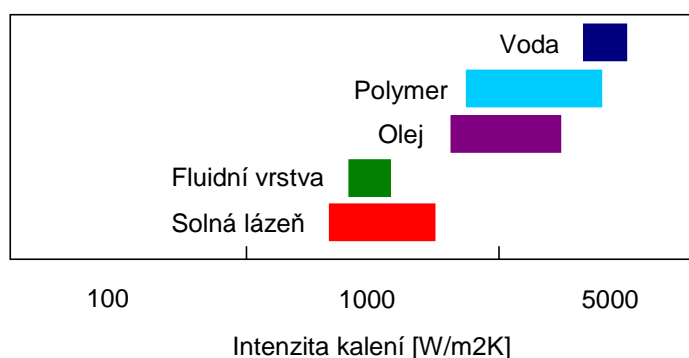
Obr. 2.18: Princip rentgenové difrakce [11]

2.5 Vyhodnocení vlastností chladicí kapaliny

V okamžiku procesu kalení již není možné zpětně ovlivnit historii součástí a odstranit chyby, které vznikly při předchozích výrobních operacích. Z tohoto důvodu je důležité přizpůsobit zvolený kalící prostředek co nejlépe příslušnému případu použití.

2.5.1 Vlastnosti kalících olejů

Na obr. 2.19 jsou uvedeny běžné kalící prostředky seřazené podle intenzity kalení.



Obr. 2.19: Druhy kalících prostředků [12]

Kalící oleje mají tu vlastnost, že při kalení oceli zaručují nejvyšší ochlazovací rychlost při teplotách 300-600°C. Při těchto teplotách se austenit vyznačuje největší tendencí k rozpadu. Oleje tak zabrání vzniku nežádoucích struktur při kalení jako jsou ferit, perlit a bainit. Naopak v dolním rozsahu teplot ochlazují oleje ve srovnání s ostatními kalícími prostředky poměrně pomalu, čímž zabraňují současnému působení tepelných a transformačních pnutí. To je

výhoda, která brání vzniku kalících trhlin a vede k minimalizaci deformací při kalení.

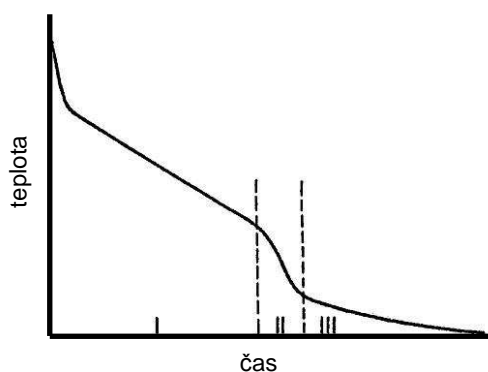
Kriteria volby kalících olejů: Volba kalícího oleje se musí provádět s ohledem na materiál a charakter součásti. Vedle prokalitelnosti, ARA diagramu, požadovaných mechanických vlastností a tvaru součásti je pro volbu typu oleje důležitý také typ zařízení a vlastní technologie. Je potřeba dbát pravidla, že se nesmí ochlazovat rychleji, než je nezbytně nutné pro dosažení požadovaných mechanických vlastností. [12]

2.5.2 Průběh ochlazování

Při ponoření součásti probíhá velmi rychlé ochlazování vlivem spotřeby tepla na vytvoření parního polštáře. Vytvoří se stabilní parní polštář obklopený vrstvou ohřáté kapaliny. Vrstva páry je špatným vodičem tepla a odděluje ochlazovaný povrch od veškeré hmoty kapaliny. Přenos tepla v tomto údobí je zabezpečovaný především zářením.

Při dosažení určitých teplot povrchu se parní polštář stává nestabilní a nastává údobí varu s vývinem bublin. V tomto údobí je porušen parní polštář a kapalina smáčí kovový povrch. Odvod tepla se uskutečňuje nejen parou, ale i kapalinou stýkající se přímo s povrchem. Rychlost ochlazování v tomto údobí dosahuje nejvyšších hodnot.

Při dalším poklesu teploty povrchu vývoj páry přestává a začíná údobí výměna tepla prouděním. Velký vliv na rychlost odvádění tepla má v tomto případě rychlost proudění kapaliny. [1]



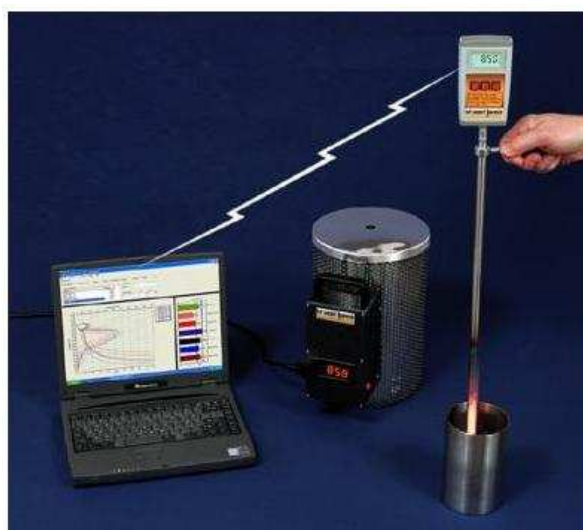
Obr. 2.20: Graf průběhu ochlazování v prostředí se změnou skupenství [1]
1) stabilní parní polštář; 2) bublinkový var; 3) výměna tepla prouděním

2.5.3 SmartQuench test

SmartQuench test je test prováděný přenosným digitálním přístrojem měřícím teplotu kalibrovaným termočlánkem. Zkoušky se mohou dělat jak ve výrobě, tak v laboratoři dle norem:

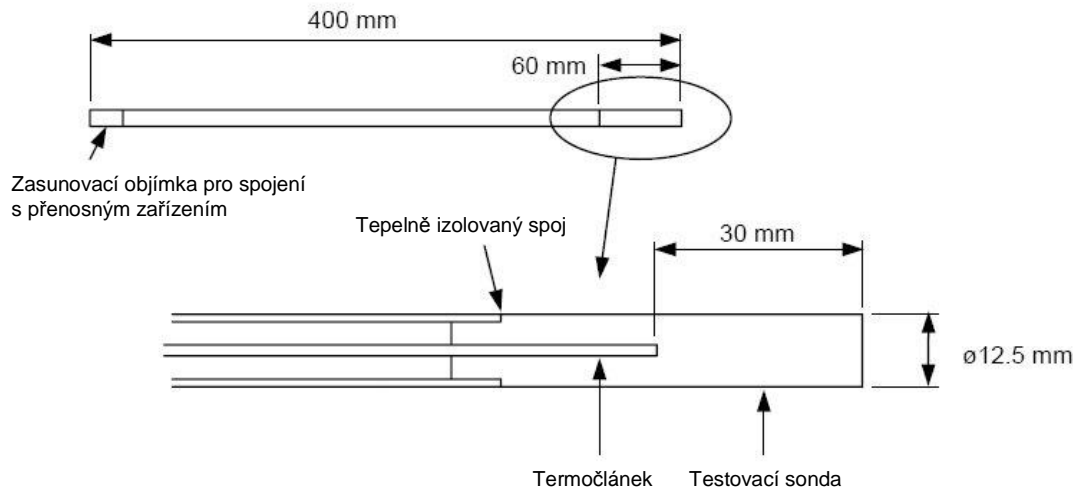
- *ISO 9950:1995*, „Průmyslové kalící oleje - stanovení chladících charakteristik“
- *ASTM D 6200-01*, „Zkušební metoda pro stanovení chladící charakteristiky kalícího oleje křivkou chladnutí“
- *ASTM D 6482-99*, „Zkušební metoda pro stanovení chladící charakteristiky kalícího vodního polymeru křivkou chladnutí s pohybujícím se médiem“

příslušenství (obr. 2.21): přenosné zařízení pro snímání údajů, standardní testovací sonda s madlem (průměr 12,5 mm, délka 400mm) - nejdůležitější součást, akumulátorové baterie, přenosná pec s tepelnou izolací pro rychlé ohřívání (15min), hardwarový klíč, nádoba pro kalící medium.



Obr. 2.21: Příslušenství pro SmartQuench test [13]

Testovací sonda je vyrobena z austenitické vysokolegované oceli, tj. slitiny Ni, Cr a Fe, zvané Inconel 600. Uvnitř sondy je zabudován tepelně izolovaný termočlánek Typu K (NiCr / NiAl) o průměru 1,5mm (obr. 2.22). [13]



Obr. 2.22: Uspořádání sondy s termočlánekem [13]

3 Experimentální část

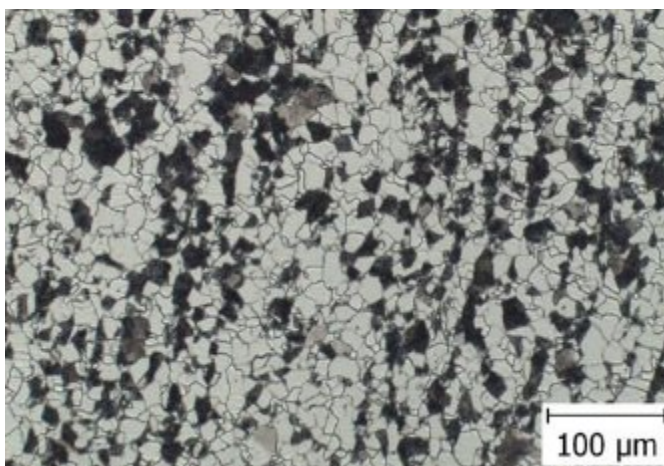
3.1 Výchozí materiál

Hnané kolo rozvodovky HKR (obr. 3.1) se vyrábí ve více materiálových variantách. Pro experimenty bylo vybráno HKR z cementační oceli TL 4521 legované niklem, firemní značení dílu je 02T 409 156H.



Obr. 3.1: Hnané kolo rozvodovky

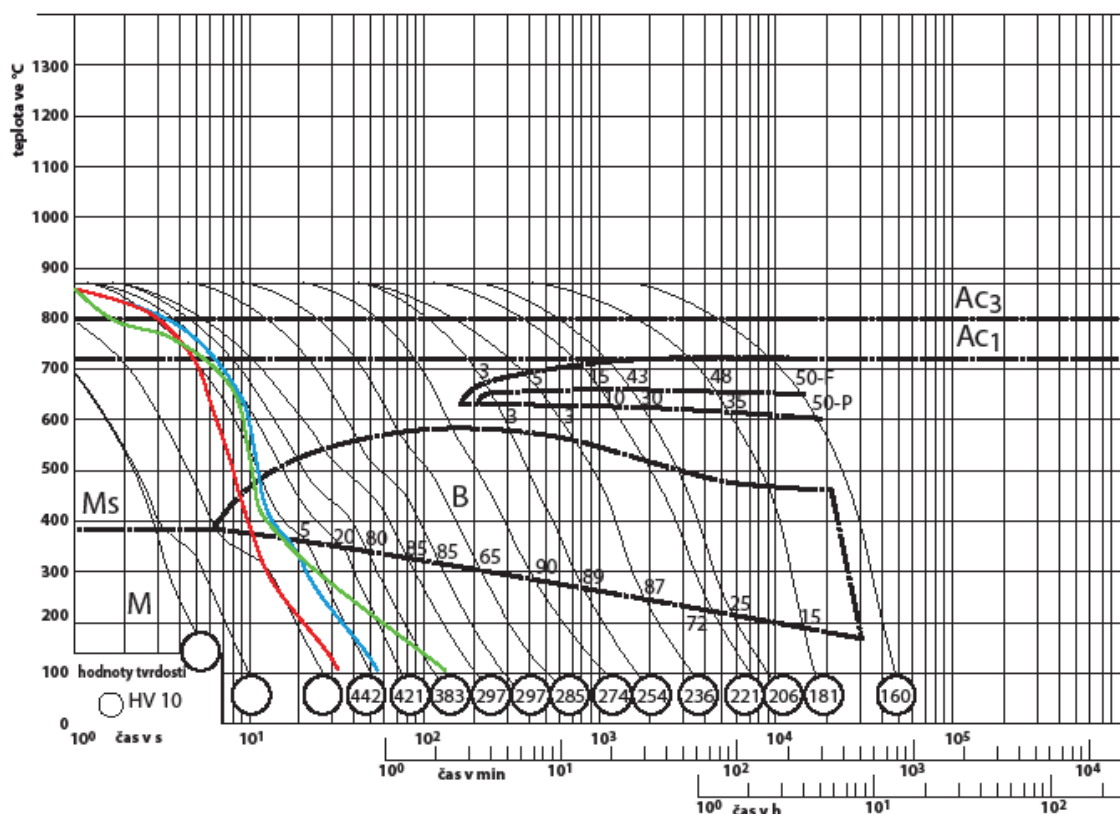
Výchozí materiál se dodává ve formě tyčového polotovaru o průměru 68mm. Základní tvar se získává zápusťkovým kováním na svislém kovací lisu LZK 2500. Po kování se výkovek rekrystalizačně žihá a poté tryská k odstranění okují. Na obr 3.2 je zobrazena feriticko perlitická struktura vyžíhaného výkovku z tavby A, podrobnější materiálový rozbor výkovku (chemické složení, tvrdost, prokalitelnost) je uveden v příloze č. 1.



Obr. 3.2: Feriticko perlitická struktura oceli TL 4521 výkovku HKR

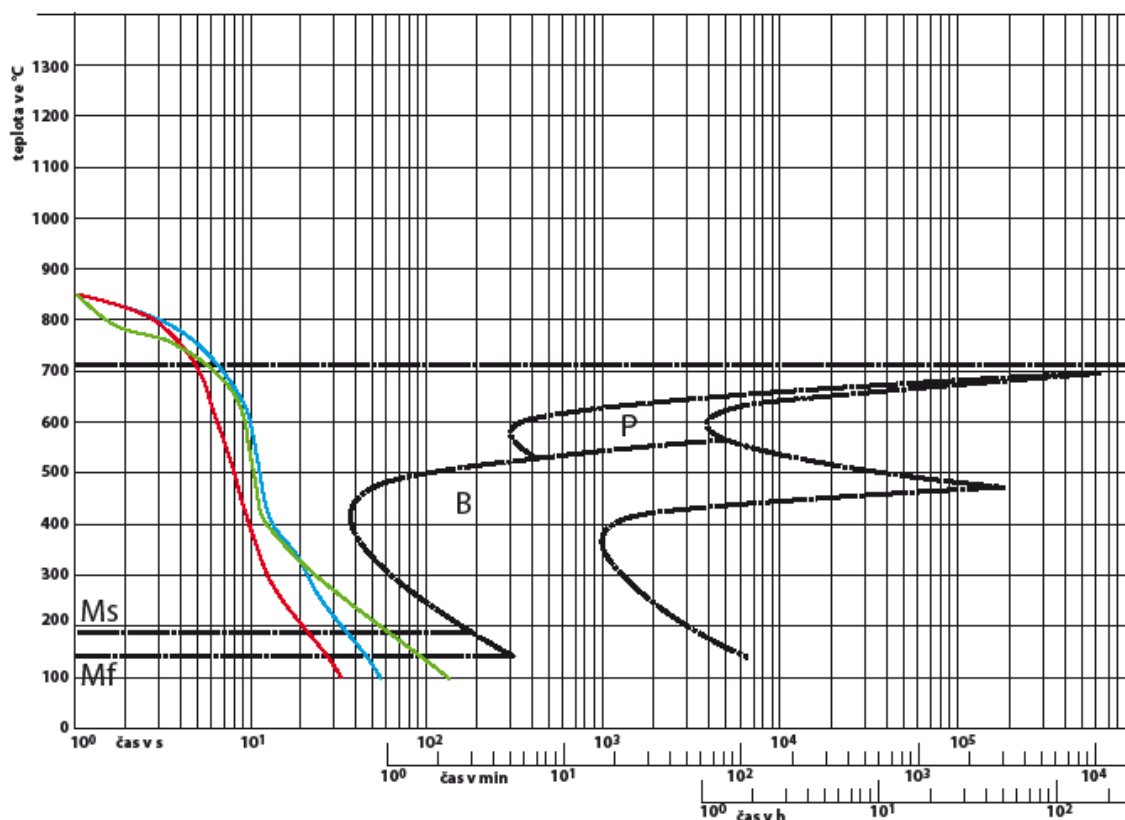
Vyžíhaný výkovek se dále obrábí na CNC strojích. Nejprve se HKR upne za vnější průměr a soustruží se vnitřní průměr, část vnějšího průměru, čelo věnce, čelo stojny a vyvrtají se otvory. Poté se HKR upne za vnitřní průměr a soustruží se zbytek vnějšího průměru, čela věnce a stojny z druhé strany. Po kompletním soustružení se na HKR frézují zuby. Ozubené kolo se zkontroluje dle KPO. Jako poslední operace na úseku obrábění se sráží ozubení a kola se vyperou. Vypraná kola se odváží na útvar kalírny VAP.

Na obr. 3.3 je zobrazen ARA diagram použité cementační oceli. V diagramu jsou zaneseny křivky chlazení pro vybrané rychlosti proudění kalícího oleje, tj. 0 (zelená křivka), 600 (modrá křivka) a 1400 ot/min (červená křivka). Kalicí charakteristiky pro rychlosti proudění 600 a 1400 ot/min byly naměřeny metodou SmartQuench test přímo v olejové nádrži ve vsázkové peci. Kalicí charakteristika pro nulovou rychlost proudění byla naměřena ve školní laboratoři na odebraném vzorku oleje zahřátého na teplotu 60°C. Výstupy ze SmartQuench testu jsou v příloze č. 2.



Obr. 3.3: ARA diagram cementační oceli TL 4521

Na obr. 3.4 je zobrazen ARA diagram nauhličené oceli s množstvím uhlíku 0,8%. V diagramu jsou zanesené výše uvedené křivky chlazení. Z diagramu lze vyčíst, že i při nulové rychlosti proudění oleje má povrch HKR požadovanou martenzitickou strukturu.



Obr. 3.4: ARA diagram nauhličené oceli s 0,8%C

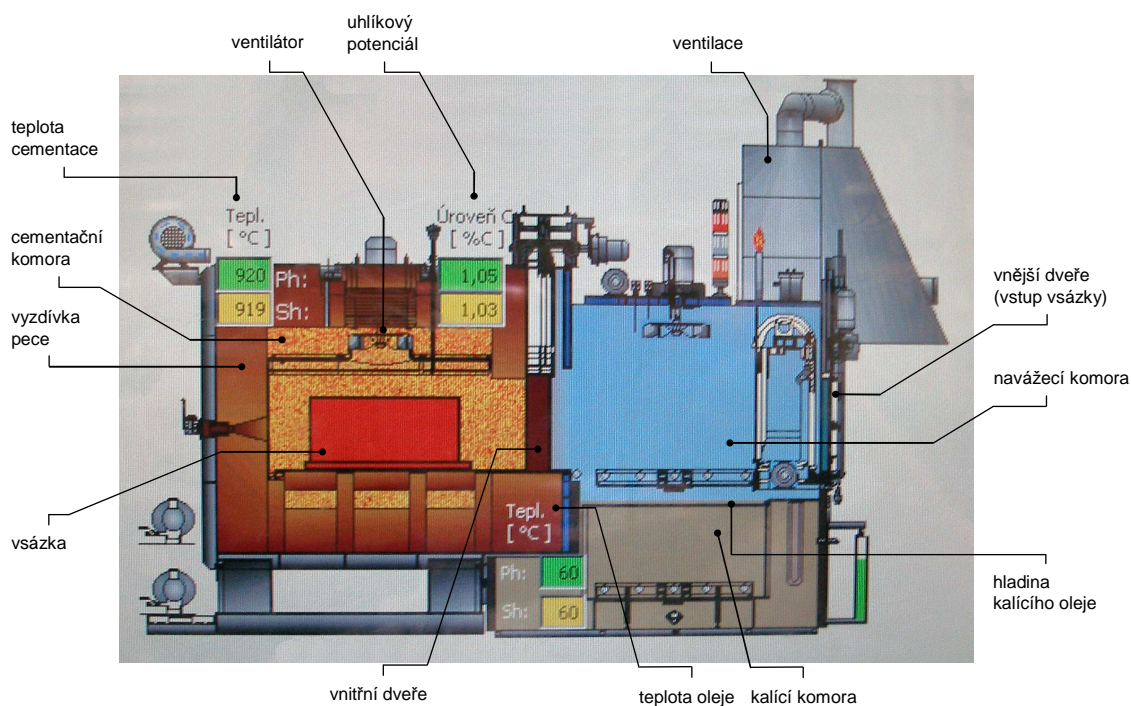
3.2 Sledování procesu CHTZ v delším časovém období

Proces CHTZ a charakteristiky HKR se sledovaly v období 4 měsíců. Během této doby bylo změřeno 10 kompletních vsázek. Množství naměřených vsázek bylo ovlivněno potřebou výroby vybraného typu HKR. Proces CHTZ byl sledován v peci č. 1 (dle číslování pecí na úseku kalírny) , mimo měření č. 4, kde bylo CHTZ v peci č. 3 (pec identická s pecí č.1).

3.2.1 Chemicko tepelné zpracování HKR

HKR se chemicko tepelně zpracovává ve dvoukomorové vsázkové peci (VP) Aichelin (obr. 3.5). Na schématu jsou vidět hodnoty teplot a množství uhlíkového potenciálu (C_p). V zeleném poli jsou zobrazeny hodnoty nastavené, ve žlutém poli jsou hodnoty skutečné.

Vstup vsázky do pece je na pravé straně schématu. V zadní komoře (oranžová barva) je vsázka cementována při teplotě 920°C v endoatmosféře obohacené metanem a čpavkem. Objemový průtok endoatmosféry je 16m³/hod, objemový průtok čpavku je 0,5 m³/hod, množství metanu se řídí dle uhlíkového potenciálu. Uhlíkový potenciál C_p je během procesu regulován kyslíkovou sondou na hodnotu 1,05%C, ke konci procesu na hodnotu 0,75%C. Nižší hodnotou C_p na konci cementace se docílí cca. eutektoidního složení povrchu a rovnoměrnějšího rozložení množství C, tím i tvrdosti, pod povrchem dílu. Předpis tloušťky nauhličené vrstvy uvádí rozmezí 0,6 – 0,9mm.



Obr. 3.5: Schéma vsázkové pece Aichelin

Po ukončení procesu cementace vsázka přejede do přední komory (modrá barva), kde se zakalí ponořením do kalícího oleje předehřátého na teplotu 60°C. Olej se při ochlazování vsázky pohybuje, proudění zajišťují

čerpadla. Jako kalící medium se používá olej TK46, což je ložiskový olej s přidanými aditivami.

Po opuštění VP směřuje vsázka do pračky Aichelin, kde je zbavena mastnoty a nečistot. Proces praní probíhá po dobu 20 min. za teploty 60°C. Jako prací prostředek je používán Pragolod 90.

Po zbavení nečistot následuje nízkoteplotní popouštění v popouštěcí peci Aichelin po dobu 120 min za teploty 160°C. Nakonec se vsázka dochladí v chladiči Aichelin proudem vzduchu. Manipulace mezi jednotlivými technologickými operacemi CHTZ je automatizována.

3.2.2 Rozmístění vsázky v peci

HKR se dováží do útvaru kalírny v jednotlivých dávkách, jedna dávka obsahuje 49 kusů. Do celkové vsázky pece se rovnají 3 dávky, tj. 147 kusů. Kusy se pokládají na rošt o devíti patrech (obr. 3.6), speciálně vyrobený pro rozměry HKR.

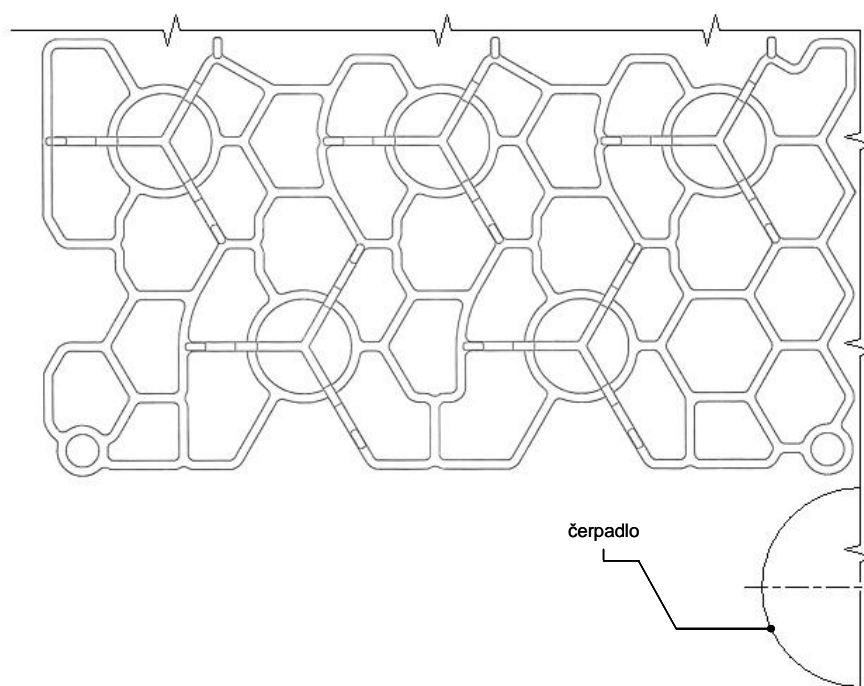
Počet kusů a jejich rozložení v jednotlivých patrech roštu je uveden v příloze č. 3. Číslování pozic kusů v příloze č. 3 je následující: 1. číslice znamená číslo patra, 2. číslice znamená číslo řady v patře, 3. číslice znamená číslo kusu v řadě.



Obr. 3.6: Rošt pro HKR používaný ve VP

Důležitým faktorem při kalení je charakteristika proudění oleje. Ve VP Aichelin je proudění oleje zajištěno dvěma čerpadly. Čerpadla jsou umístěna v trubce, pozice čerpadla vůči roštu je vidět na obr. 3.7. Na obr. 3.7 je zobrazena pouze $\frac{1}{4}$ roštu, druhé čerpadlo je umístěno zrcadlově na druhé straně roštu.

Olej se do trubky nasává v horní části nádrže a vypouští u dna. Dno nádrže je tvarováno tak, že proud oleje směřuje středem roštu nahoru. Chladiče oleje jsou u hladiny.



Obr. 3.7: $\frac{1}{4}$ roštu s naznačenou pozicí čerpadla

3.2.3 Sledované technologické parametry CHTZ

Mezi sledované technologické parametry CHTZ patří teplota a uhlíkový potenciál procesu cementace, teplota kalení, teplota kalícího oleje a délka jednotlivých časových úseků. Příklad výstupu z pece o sledování procesu je v příloze č. 4.

Při procesu sycení povrchu oceli uhlíkem je ve VP nastavena teplota 920°C, a během jednotlivých měření se s teplotou nehýbalo. Doba cementace při nastavené teplotě se během jednotlivých měření pohybovala od 5h do 5,5h. Poté následuje úsek, při kterém se vsázka ochladí z cementační

teploty na teplotu kalení. Na kalicí teplotě je výdrž 1h, při které se vyrovnají teploty v celém objemu vsázky.

Množství uhlíkového potenciálu C_p v pecní atmosféře je nastaveno na 1,05%C po dobu 3,5h. 1h před koncem procesu se množství C_p sníží na hodnotu 0,75%C (difúzní perioda). Během jednotlivých měření se množství C_p ani délka jednotlivých úseků neměnila.

Teplota, z které se vsázka kalila, se během jednotlivých měření pohybovala v rozmezí od 810°C do 850°C.

Kalicí olej se udržoval na teplotě 60°C při všech měřeních. Olej je po celou dobu kalení v pohybu, proudění je rozděleno do několika kroků (tab. 3.1).

Tab. 3.1: jednotlivé kroky cirkulace oleje

	charakteristika	čas [s]	otáčky [ot/min]
1. krok	bez cirkulace	0	0
2. krok	pomalá cirkulace	60	600
3. krok	rychlá cirkulace	300	1400
4. krok	pomalá cirkulace	zbytek procesu	600

Jak je vidět v tabulce 3.1, 1. krok bez cirkulace je vynechán. Krok číslo 4 je pevně naprogramovaný tak, že otáčky jsou shodné s otáčkami 2. kroku, tzn. nelze je nastavit samostatně. Proudění bylo pro všechna měření nastaveno stejné. Celková doba chlazení se pohybovala mezi 10 - 20 minutami.

3.2.4 Měření charakteristiky HKR

V delším časovém období byla na HKR sledována deformace a ovalita vnitřního průměru, tvrdost materiálu.

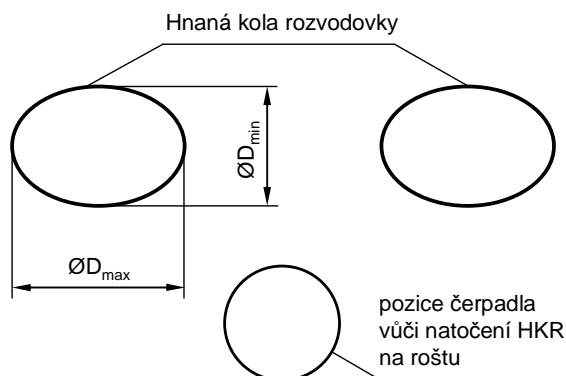
Deformace a ovalita vnitřního průměru HKR se měří na měřícím přístroji zobrazeném na obr. 3.8. Měřicí přístroj je speciálně vyrobený pro rozměry HKR. Na přístroji z obr. 3.8 se měřené hodnoty odečítají z číselníkového úchylkoměru. Přístroj měří s přesností 0,002mm a přesnost měření se ověřuje pomocí kalibrovaného kusu. V současné době se pro urychlení výstupní kontroly používá digitální měřicí přístroj.



Obr. 3.8: Přístroj pro měření deformací vnitřního průměru HKR

Kusy se špatnými rozměry se dále dělí na opravitelné a neopravitelné. Při rozměru vnitřního průměru HKR menším, než je spodní povolená hranice, se otvor soustruží na požadovaný rozměr. Obrobení je možné s ohledem na dodržení min. hloubky prokalené vrstvy. Jestliže by se obrobením vrstva zmenšila příliš, vyřadí se kus mezi neobrobitelné. Druhá možnost, kdy rozměr vnitřního průměru HKR je větší, než stanoví horní povolená hranice, se při sledování procesu vyskytla jen zřídka. V této situaci se otvoru HKR přizpůsobí rozměr skříně diferenciálu, na který je HKR nalisováno.

Deformace otvoru ΔD se počítala dle vztahu 3.1, kde $D_{Mstř}$ je střední průměr měkkého kola a $D_{Kstř}$ je střední průměr tepelně zpracovaného kola. D_{max} je max. hodnota vnitřního průměru kola D_{min} je min. hodnota vnitřního průměru kola (obr. 3.9).



$$\Delta D = D_{Mstř} - D_{Kstř}$$

$$D_{stř} = \frac{D_{max} + D_{min}}{2} \quad (3.1)$$

Obr. 3.9: Znázornění deformace vnitřního průměru HKR

Ovalita otvoru se počítala dle vztahu 3.2. Během dlouhodobého zkoušení byl sledován také vliv natočení kola na roštu vůči čerpadlu. Kola se v některých vsázkách rovnala na rošt minimálním rozměrem směrem k čerpadlům a v některých vsázkách maximálním rozměrem směrem k čerpadlům (obr. 3.9).

$$ovalita = D_{\max} - D_{\min} \quad (3.2)$$

Tvrдост HKR před chemicko tepelným zpracováním, tj. v měkkém stavu, se měřila dle Brinella tvrdoměrem v laboratoři technické kontroly (obr. 3.10/a). Kulička o průměru $D = 2,5\text{mm}$ byla vtlačována do leštěného povrchu silou $F = 187,5\text{N}$. Průměry vtisku se odměřovali pravítkem. Měřilo se devět kol, vždy jedno kolo z patra roštu. Na každém kole se udělali tři vpichy na čele věnce, vzájemně pootočené o 90° , z kterých se vypočetla průměrná tvrdost.

Tvrдост HKR po chemicko tepelném zpracování, tzn. zakalené a popuštěné, se měřila dle Rockwella HRc tvrdoměrem na dílně (obr. 3.10/b). Diamantový kužel byl vtlačován do leštěného povrchu zatěžující silou 150N . Tvrдост byla vyhodnocována digitálně. Měřilo se devět kol, u kterých byla měřena tvrdost „za měkka“. Na každém kole se udělaly tři vpichy v přibližně stejných místech jako u měkkých kol, z kterých se vypočetla průměrná tvrdost.



a



b

Obr. 3.10: Měřící přístroje tvrdosti

a) Brinell - Wolpert DIA TESTTER 2RC; b) Rockwell - LECO RT-240 Hardness tester

3.2.5 Diskuze výsledků

V příloze č. 5 jsou uvedeny grafy výsledků jednotlivých měření s označením čísla a datumu měření, označenou tavbou a teplotou kalení. V tab. 3.2 jsou uvedeny údaje o označení tavby a kalící teploty jednotlivých měření.

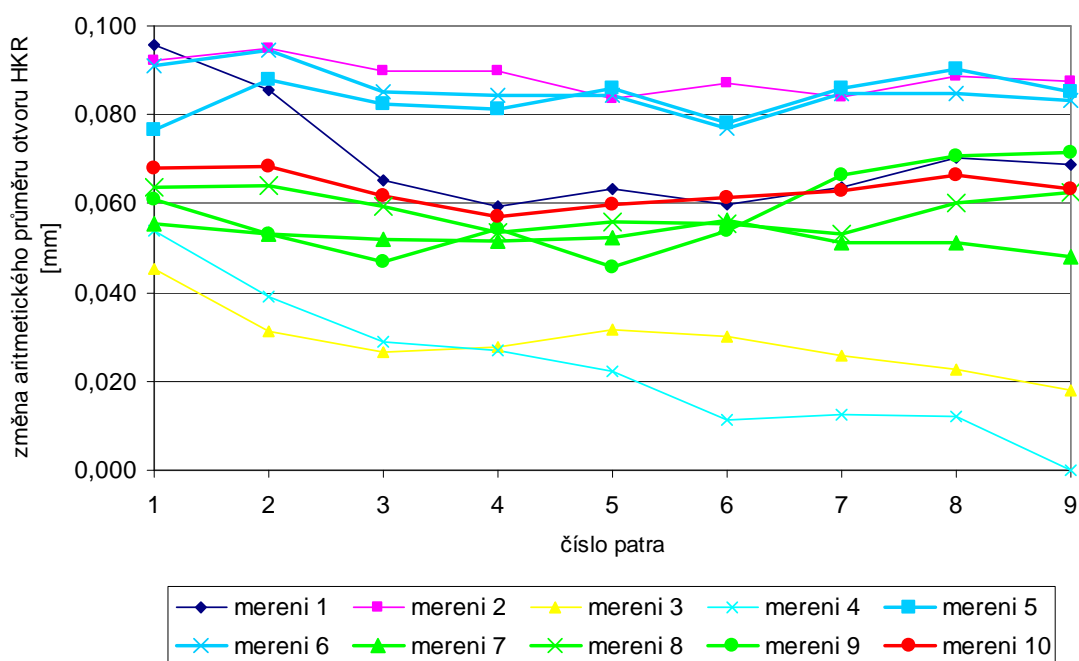
Tab. 3.2.: Označení tavby a teploty kalení jednotlivých měření

č. měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
označení tavby	P	P	P	P	P	P	S	S	S	Z
teplota kalení [°C]	840	-	820	810	850	850	850	850	850	850

Během dlouhodobého sledování byly zjištěny tyto závislosti:

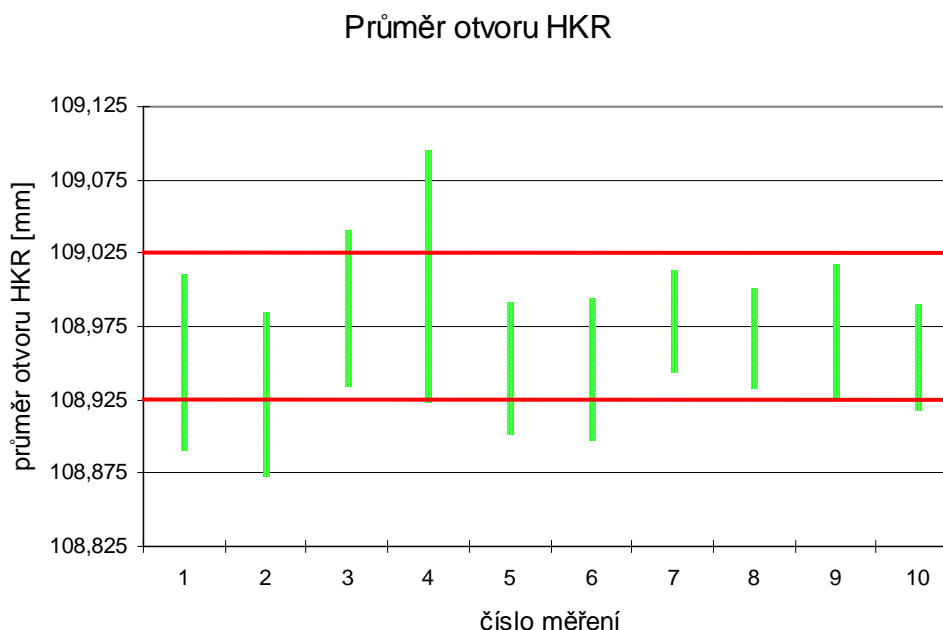
Závislost na kalící teplotě t_k - za nižších kalících teplot t_k (810-840°C) měly deformace vnitřního HKR celkově větší rozptyl (obr. 3.11, 3.12 - měření 1 až 4). Při nižších t_k také docházelo ve spodních patrech roštu k větší deformaci otvoru HKR oproti vyšším patrům. Při vyšší t_k (850°C) měly deformace nižší rozptyl (obr. 3.11, 3.12 - měření 5 až 10).

Změna aritmetických průměrů otvoru HKR po CHTZ



Obr. 3.11: Graf změny aritmetických průměrů otvoru HKR při dlouhodobém sledování procesu CHTZ

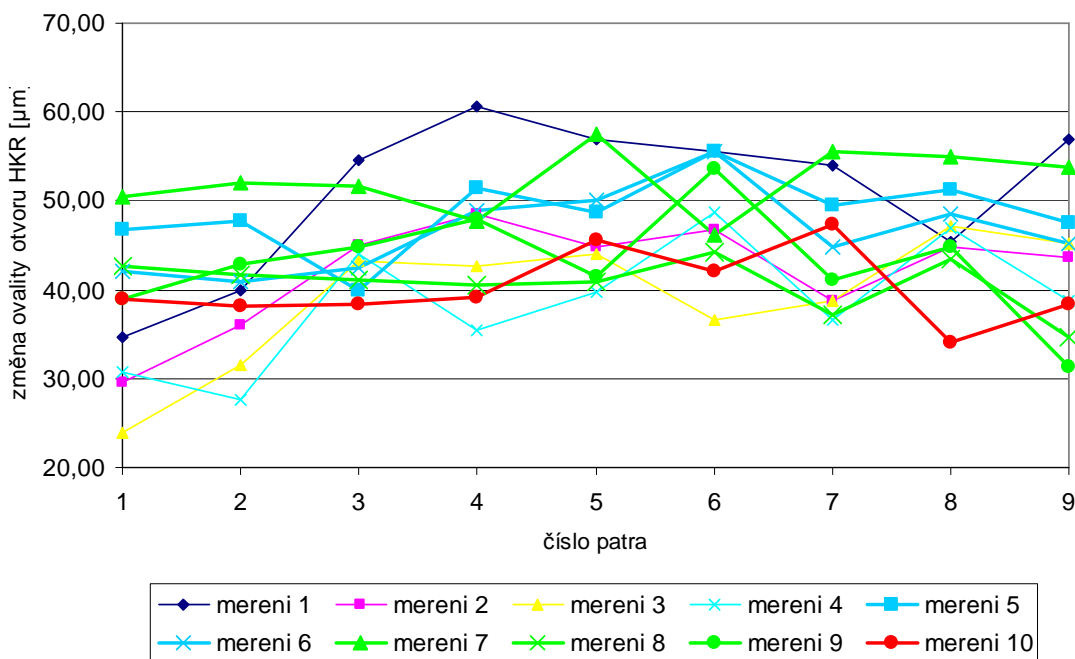
Na obr. 3.12 je zobrazeno statistické rozložení hodnot vnitřního průměru pro jednotlivá měření. Zelené úsečky znázorňují hodnotu aritmetického průměru \pm trojnásobek směrodatné odchylky. Červené čáry označují horní a spodní povolený rozměr otvoru HKR.



Obr. 3.12: Graf rozložení rozměrů otvoru HKR při dlouhodobém sledování procesu CHTZ

Při nižších t_k docházelo ve spodních patrech roštu k menším změnám ovality otvoru HKR oproti vyšším patrům. Při vyšší t_k byly změny ovality vyrovnanější. Rozptyl změny ovality byl pro všechna měření vyrovnaný (obr. 3.13, 3.14). Tvrdost tepelně zpracovaných HKR neměla tendenci měnit se v závislosti na teplotě kalení.

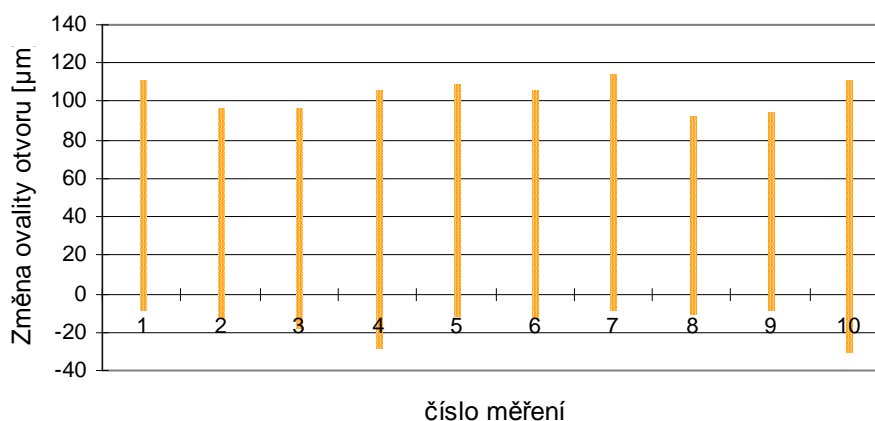
Změna ovality otvoru HKR po CHTZ



Obr. 3.13: Graf změny ovality otvoru HKR při dlouhodobém sledování procesu CHTZ

Na obr. 3.14 je zobrazeno statistické rozložení změn ovality vnitřního průměru pro jednotlivá měření. Oranžové úsečky znázorňují hodnotu aritmetického průměru \pm trojnásobek směrodatné odchylky.

Změna ovality otvoru HKR



Obr. 3.14: Graf rozložení změny ovality otvoru HKR při dlouhod. sledování procesu CHTZ

Závislost na rozložení HKR na roštu - v polovině případů měření byl zjištěn nižší rozptyl středních průměrů otvoru HKR u patra s nižším počtem kol (6.

patro, viz. příloha č. 3). Nižší počet kol v patře umožňuje lepší proudění kalícího oleje. U ovality se závislost na množství HKR na roštu neprojevila.

Tvrдость tepelně zpracovaných HKR byla pro všechna měření vyrovnaná, pohybovala se mezi 59-62HRc. V některých případech se ve spodních patrech objevila o něco vyšší tvrдость (1HRc) oproti vyšším patrům.

Závislost deformace na umístění HKR na určité pozici v jednotlivých patrech roštu, např. na kraji nebo uprostřed patra, nebyla prokázána.

Závislost na chemickém složení výchozího materiálu - během sledování jednotlivých měření se jako výchozí materiál postupně použily 3 tavby - P, S, Z (tab. 3.3). Při stejných parametrech CHTZ byly naměřeny větší deformace otvoru HKR u tavby P, deformace u tavby S a Z byly vyrovnané (viz. obr. 3.11). Největší odlišnost v chemickém složení tavby P od taveb S, Z byla v množství prvku Al.

Tab. 3.3.: Chemické složení mat. TL 4521 pro různé tavby

prvek	předpis	tavba		
		P	S	Z
C	0,15 ÷ 0,23	0,19	0,19	0,19
Mn	0,5 ÷ 0,80	0,75	0,77	0,76
Si	≤ 0,12	0,11	0,11	0,12
P	≤ 0,035	0,010	0,009	0,008
S	0,025 ÷ 0,035	0,033	0,033	0,035
Cr	0,65 ÷ 0,85	0,74	0,77	0,76
Al	0,015 ÷ 0,050	0,027	0,020	0,022
Ti	≤ 0,005	0,0020	0,0020	0,0022
Ni	1,5 ÷ 1,90	1,57	1,65	1,55
Mo	0,28 ÷ 0,38	0,310	0,320	0,305
O2	≤ 0,0025	0,0021	0,0018	0,0018
N	-	0,0044	0,0042	0,0042

Závislost na uhlíkovém potenciálu C_p pecní atmosféry - během dlouhodobého sledování procesu CHTZ došlo u měření č. 3 ke konci nauhličovacího procesu, tj. v periodě, kdy se C_p snižuje na nižší hodnotu, k velkému zvýšení C_p na 1,5%C. U této vsázky byl naměřen větší rozptyl deformací otvoru HKR, také se projevila nižší tvrдость v důsledku vyššího množství zbytkového austenitu. Množství A_z se snížilo pevnostním tryskáním.

Z dlouhodobého sledování procesu CHTZ vyplynulo, že deformace otvoru HKR závisí na kalící teplotě, kdy za nižší kalící teploty dochází k většímu rozptylu deformací. Nejvyrovnanější výsledky deformací a ovality byly zjištěny u vyšší kalící teploty, tj. 850°C .

Dále byla v polovině případů zjištěna závislost deformace na proudění oleje. V patře s nižším počtem HKR, což umožňovalo lepší proudění oleje mezi jednotlivými koly, byl rozptyl deformací nižší oproti ostatním patrům.

Byla zjištěna závislost velikosti deformace otvoru na chemickém složení výchozího materiálu, tzn. že, i když chemické složení odpovídá předpisovým tolerancím, záleží na tom, kde se hodnoty obsahu chemických prvků pohybují v tolerančním rozpětí.

3.3 Vyhodnocení dílčích změn procesu

3.3.1 Změna proudění kalícího oleje

Proces CHTZ byl sledován v peci č. 1, tj. ve stejné peci jako u dlouhodobého sledování. Jako dílčí změna procesu CHTZ bylo zvoleno proudění kalícího oleje, které dává velký potenciál pro experimenty. Může se kombinovat čas i rychlost proudění. Navrhnuté změny rychlosti proudění a délky časových úseků jsou zobrazeny v tabulce 3.4. Ostatní parametry CHTZ byly nastaveny takto: cementační teplota 920°C, uhlíkový potenciál 1,05 a 0,75%C, teplota kalení 850°C, teplota kalícího oleje 60°C.

Tab. 3.4.: jednotlivé změny parametrů procesu

	2. krok - čas [s]	2. krok - rychlost [ot/min]	3. krok - rychlost [ot/min]
1. měření (10 ks)	60	0	700
2. měření (10 ks)	60	0	1400
3. měření (10 ks)	60	900	1400
4. měření (10 ks)	30	0	700
5. měření (10 ks)	30	0	1400
6. měření (10 ks)	30	900	1400
7. měření (10 ks)	60	600	700
8. měření (10 ks)	60	600	1400
9. měření (10 ks)	30	600	700
10. měření (10 ks)	30	600	1400

3.3.2 Rozložení zkušebních HKR na roštu

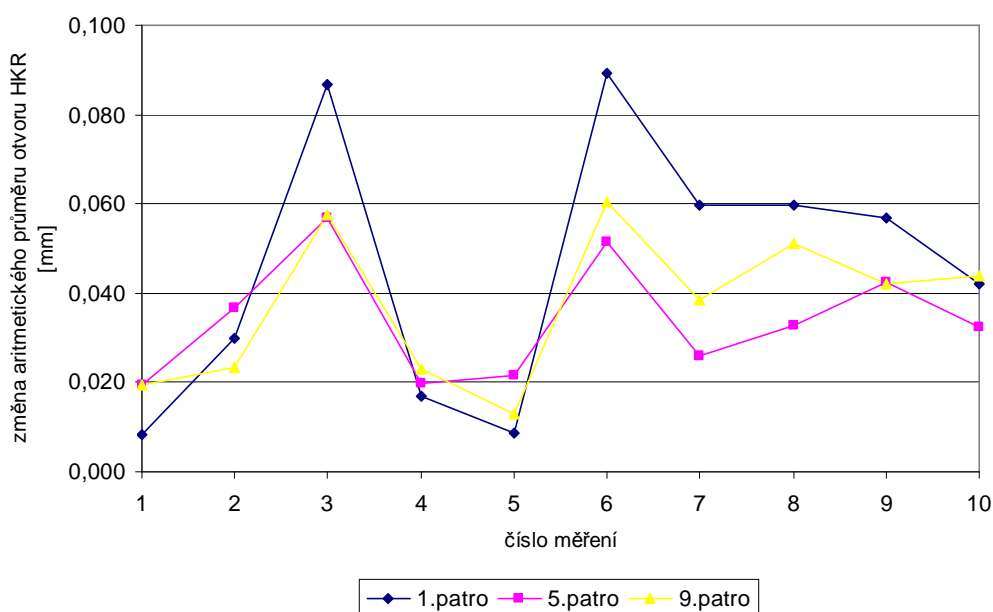
Pro každý experiment bylo použito 10 ks HKR. Zbýlých 137 volných míst na roštu bylo pro autentičnost procesu doplněno zmetkovými kusy HKR. Zvolené rozmístění zkušebních HKR je vidět v příloze č. 3 (zelená pole). Kola byla umístěna ve spodním (1. patro), středním (5. patro) a horním (9. patro) patře roštu, a to jak na krajích, tak uprostřed patra.

3.3.3 Diskuze výsledků

3.3.3.1 Deformace otvoru

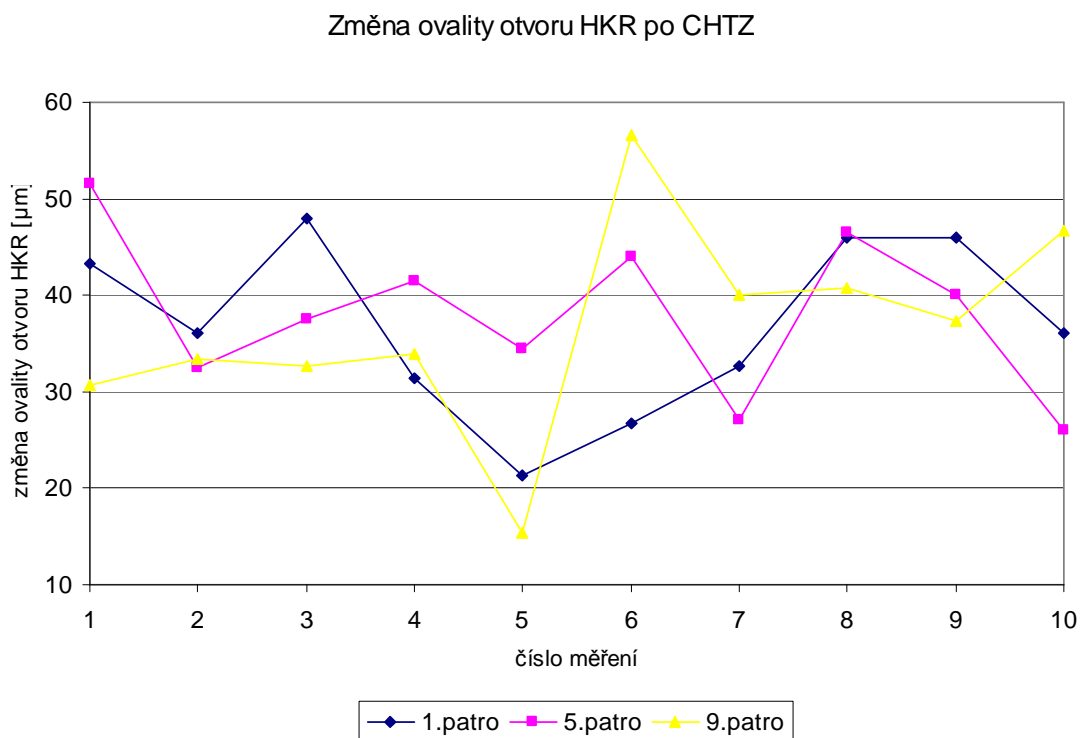
V příloze č. 6 jsou uvedeny grafy výsledků jednotlivých experimentů s označením čísla experimentu, proudění oleje, označenou tavbou a teplotou kalení. Výsledky sledování deformace otvoru HKR po chemicko tepelném zpracování v závislosti na rychlosti kalicího oleje jsou uvedeny v grafu na obr. 3.15. Čísla měření znamenají čísla experimentů. Z grafu lze vyčíst, že nejnižší rozptyl změny průměrů mezi patry byl naměřen u experimentů s nulovou rychlostí proudění na začátku procesu chlazení. Naopak nejvyšší rozptyl byl u největší rychlosti proudění na začátku procesu chlazení, při těchto podmínkách je také velký rozdíl ve změně průměrů otvoru mezi spodním patrem a ostatními patry (5. a 9. patro).

Změna aritmetických průměrů otvoru HKR po CHTZ



Obr. 3.15: Graf změny aritmetických průměrů otvoru HKR při změnách proudění oleje

Na obr. 3.16 jsou zobrazeny výsledky sledování ovality otvoru HKR po chemicko tepelném zpracování v závislosti na rychlosti kalícího oleje. Čísla měření znamenají čísla experimentů. Z naměřených výsledků nelze vyčíst tak jednoznačná závislost změny ovality na rychlosti proudění oleje. Z grafu lze vyčíst, že příznivý výsledek rozptýlu ovality otvoru HKR byl naměřen za podmínek experimentu č. 8, což jsou výchozí podmínky používané při CHTZ.

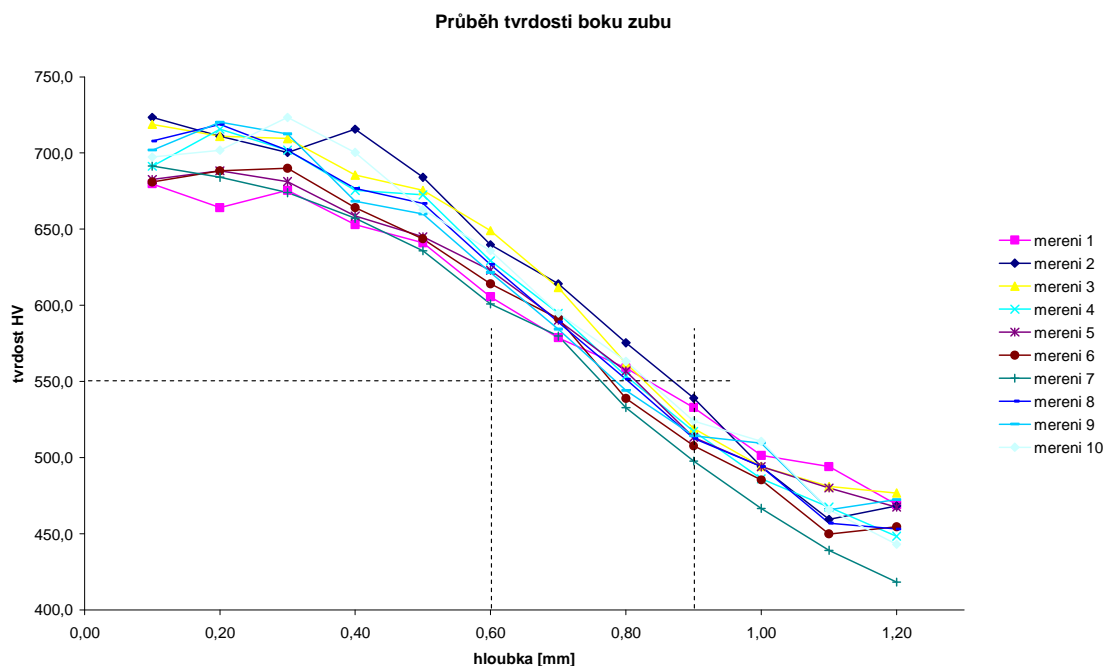


Obr. 3.16: Graf změny ovality otvoru HKR při změnách proudění oleje

3.3.3.2 Průběh tvrdosti

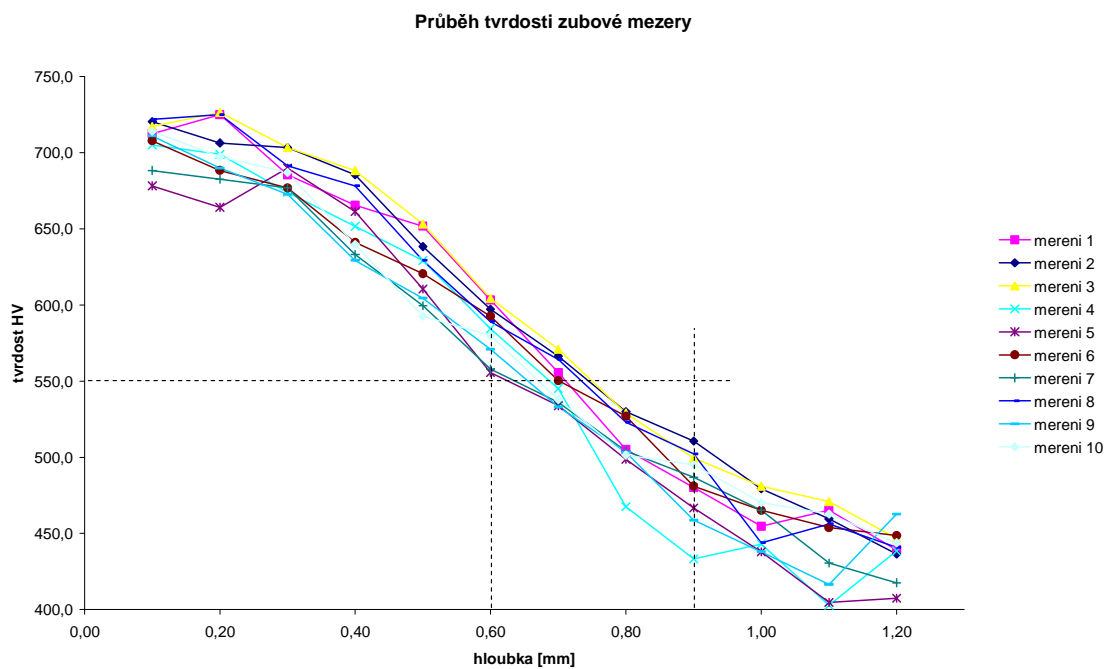
Z každé vsázky bylo vybráno HKR z pozice č. 6 (viz. příloha č. 3), z kterého se udělal výbrus. Na výbrusu se v laboratoři provedlo měření tvrdosti vrstvy, jádra a průběhu tvrdosti. Z průběhu tvrdosti se vyhodnotila hloubka vrstvy. Tvrdost vrstvy u všech měření vyhovovala předpisu: tvrdost $\geq 680\text{HV}_{30}$, protokoly o měření tvrdosti jsou uvedeny v příloze č. 7.

Průběh tvrdosti se měřil jak na boku zubu (obr. 3.17), tak v zubové mezeře (obr. 3.18). Jak lze vyčíst z grafů, ve všech měřeních bylo vyhověno předepsané hloubce nauhličené vrstvy 0,6 - 0,9mm, a to jak na boku zubu, tak v zubové mezeře.



Obr. 3.17: Graf průběhu tvrdosti na boku zubu pro všechny experimenty

Na boku zubu byla zjištěna nejvyšší hloubka vrstvy v 2. měření (experimentu), a to 0,87mm. Nejnižší hloubka vrstvy na boku zubu byla v 7. měření, a to 0,76mm.

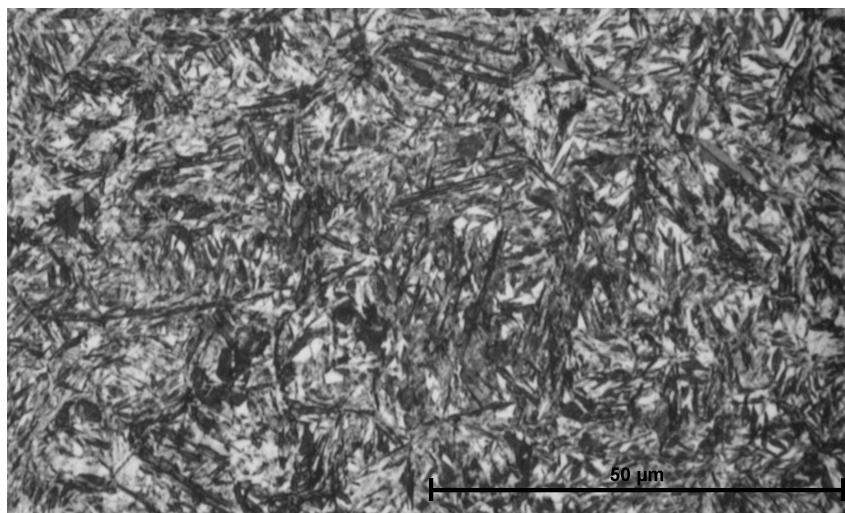


Obr. 3.18: Graf průběhu tvrdosti zubové mezery pro všechny experimenty

V zubové mezeře byla zjištěna nejvyšší hloubka vrstvy v 3. a 2. měření, a to 0,75 a 0,74mm. Nejnižší hloubka vrstvy v zubové mezeře byla v 5. a 7. měření, a to 0,63 a 0,64mm.

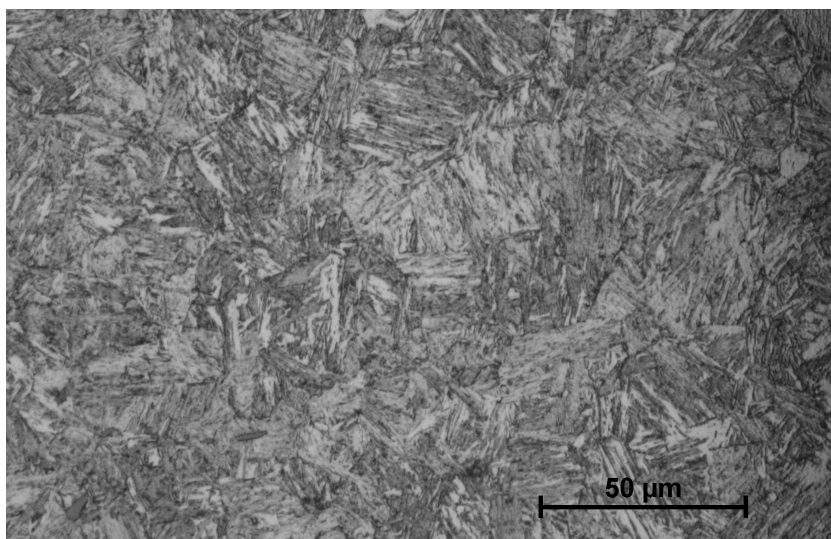
3.3.3.3 Struktura

Vzorky byly leptány 2% roztokem nitalu. Kompletní seznam fotek struktur vrstvy i jádra jsou uvedeny v příloze č. 8. Charakter struktury vrstvy tepelně zpracovaných HKR (obr. 3.19) byl u všech měření téměř identický, tj. martenzitický s určitým množstvím zbytkového austenitu.



Obr. 3.19: Struktura vrstvy HKR

Charakter struktury jádra tepelně zpracovaných HKR (obr. 3.20) byl u všech měření téměř identický, tj. nedokonale zakalený bainiticko martenzitický s určitým množstvím feritu.



Obr. 3.20: Struktura jádra HKR

Nejlepší výsledky deformací otvoru HKR byly zjištěny při kalení, kdy z počátku chlazení byl kalící olej bez proudění. Největší deformace nastaly při vysokých rychlostech po celou dobu kalení. Zkrácením intervalu druhého kroku z 60s na 30s se deformace ani ovalita otvoru HKR znatelně neovlivnila.

Struktura vrstvy byla ve všech případech martenzitická s určitým množstvím zbytkového austenitu, což potvrdilo teoretické předpoklady z ARA diagramu se zanesenými rychlostmi proudění oleje. Předpis tvrdosti vrstvy a jádra, hloubky vrstvy byl dodržen ve všech případech experimentů, tudíž tyto sledované vlastnosti nelimitují ve změně rychlosti proudění kalícího oleje.

4 Závěr

Diplomová práce měla za úkol sledovat v delším časovém období technologické parametry chemicko tepelného zpracování dílu převodovky MQ200 a posoudit vliv dílčích změn technologických parametrů CHTZ na deformaci otvoru.

Diplomová práce sledovala vlastnosti hnaného kola rozvodovky z materiálu TL 4521. CHTZ bylo prováděno ve dvoukomorové víceúčelové peci firmy Aichelin. Naměřené výsledky byly sestaveny do grafů (viz přílohy DP).

Výsledky dlouhodobého sledování ukázaly závislost rozptylu deformací otvoru HKR na kalící teplotě i proudění kalícího oleje. Také se projevila závislost velikosti deformace otvoru HKR na chemickém složení výchozího materiálu. Jako dílčí změna procesu CHTZ bylo vybráno proudění oleje. Ze sledování závislosti vlastností HKR na změně proudění oleje bylo zjištěno, že nejnižší rozptyl deformace otvoru HKR byl dosažen při nulové rychlosti proudění kalícího oleje v počáteční fázi ochlazování. Tato změna proudění neovlivnila tvrdost, hloubku vrstvy ani strukturu dílu.

Jako provozní odchylka bylo u jednoho měření zjištěno nestandardní množství uhlíkového potenciálu v pecní atmosféře při procesu cementace. Zvýšené množství uhlíkového potenciálu zapříčinilo snížení tvrdosti. Jiné provozní odchylky a nesystémové změny v technologii zpracování nebyly během sledování procesu zjištěny.

Pro další postup řešení optimalizace deformací otvoru HKR navrhuji použití nulové rychlosti proudění kalícího oleje v počáteční fázi ochlazování ve výrobě. Další varianta optimalizace deformací otvoru HKR je snížení počtu kusů HKR ve vsázce, které umožní lepší proudění oleje. Druhá varianta na druhou stranu snižuje počet vyrobených kusů.

5 Použitá literatura

- [1] KRAUS, V. *Tepelné zpracování a slinování*. [cit. listopad 2009].
Dostupné na: tzs.kmm.zcu.cz/TZSprcelk.pdf
- [2] *Materiály* (učební podklady). [online]. [cit. listopad 2009].
Dostupné na: <http://duchaj.wz.cz/download.htm>
- [3] *Převodovka - technické informace*. [cit. listopad 2009]
Dostupné na: <http://www.prevodovka.org/prevodovky/>
- [4] ŠKODA, Mladá Boleslav. *Dílenská učební pomůcka SSP62*, 2007
- [5] ŠKODA, Mladá Boleslav. *Dílenská učební pomůcka SSP37*, 2004
- [6] *Diferenciál (mechanika)*. [cit. listopad 2009]
Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/>
- [7] SEDLÁČEK, V. *Povrchy a povlaky kovů*. Praha: ČVUT, 1992
- [8] DAĐOUREK, K. *Podklady pro přednášky - Teorie tepelného zpracování*.
TU v Liberci, 2008.
- [9] DAĐOUREK, K. *Podklady pro přednášky - Vybrané technologie
povrchových úprav*. TU v Liberci, 2008.
- [10] *Fyzikální jednotky - podrobný popis* [cit. prosinec 2009]
Dostupné na: <http://www.converter.cz>
- [11] PCS. *Technické informace o strojích*. [CD-ROM]. 2009
- [12] BRAUN, R. *Změna kvality kalících olejů*. Brno: 22. dny tepelného
zpracování, 2008
- [13] *ivf smart quench*. [cit. prosinec 2009]
Dostupné na: <http://extra.ivf.se/smartquench/>
- [14] *Aichelin Heat Treatment Systems*. [cit. prosinec 2009]
Dostupné na: <http://www.aichelin.at>
- [15] ŠKODA, Mladá Boleslav. *firemní podklady dílů převodovky*.

6 Seznam příloh

příloha č. 1: Informace o tavbě cementační oceli TL 4521

příloha č. 2: Výstupy ze SmartQuench testu

příloha č. 3: Rozložení kusů HKR na roštu

příloha č. 4: Doklad o CHTZ

příloha č. 5: Výsledky dlouhodobého sledování procesu CHTZ

příloha č. 6: Výsledky při změně proudění oleje procesu CHTZ

příloha č. 7: Protokoly o zkoušce tvrdosti po CHTZ

příloha č. 8: Fotografie struktur po CHTZ

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/31 Metalurgická laboratoř VAH/31 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 2722/09 Laborbericht Nr.		List/Blatt 1/1
	Předmět zkoušky Vorgang	Hnané kolo rozvodovky R 02T 409 156 F	Materiál/Norma Werkstoff/Norm
Účel zkoušky Prüfungszweck	Materiálový rozbor výkovku Werkstoffanalyse	Výrobce oceli/Rozměr Stahlproduzent/Abmessung	Třinecké železářny Ø 68
Odběratel Abnehmer	ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav – Česká republika VW Kassel – Deutschland GEARBOX Prat - Spanien	Tavba/Značka Schmelze/Zeichen	50344 A
Zadal Auftraggeber	Vilim Milan, VAH-2 Tel. +420 326 812663 milko.milan.vilim@skoda-auto.cz	Počet vzorků/Pec Probeileanzahl/Ofen	3 IWAG 2

I. Výsledky / Untersuchungsergebnisse :

1. Chemické složení / Chemische Zusammensetzung in Masse - % : *) TL 4521

Prvek/Element Vzorek/Probe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	Ti **)	Ni	Mo	O ₂ **)	N **)
Předpis/ Vorschrift	0,15 ÷ 0,23	0,50 ÷ 0,80	≤ 0,12	≤ 0,035	0,025 ÷ 0,035	0,65 ÷ 0,85	0,015 ÷ 0,040	≤ 0,005	1,50 ÷ 1,90	0,28 ÷ 0,38	≤ 0,0025	≤ 0,015
1	0,17	0,79	0,11	0,009	0,029	0,72	0,021	0,001	1,64	0,330	0,0022	0,0056

*) Za výsledky chemické analýzy zodpovídá – Kalista Vladimír

**) certifikát výrobce oceli / Zertifikat des Stahlproduzenten

2. Tvrdost / Härte : EN ISO 6506-1

Předpis/Vorschrift	149 ÷ 193 HBW 5/750					
Vzorek/Probe	1	2	3			
Hodnoty/Messwerte	156	158	155	156	156	154

3. Prokalitelnost / Härtbarkeit **) : EN ISO 642

Předpis/Vorschrift	Výsledek/Ergebnisse :
J 5 = 43 - 48 HRC	43
J 10 = 33 - 38 HRC	38

**) certifikát výrobce oceli / Zertifikat des Stahlproduzenten

4. Tepelné zpracování - struktura / Wärmebehandlung - Gefüge :

Předpis/Vorschrift : BG-S - perlit a ferit / BG-S - Perlit und Ferrit

Výsledek/Ergebnisse : Lamelární perlit+ferit / Lamellarer Perlit + Ferrit

Velikost zrna / Korngröße : 8 EN ISO 643

Řádovitost / Zeilengefüge 1 / 2B CSN 42 0469

Foto / Bild

vzorek 1 Probe 1

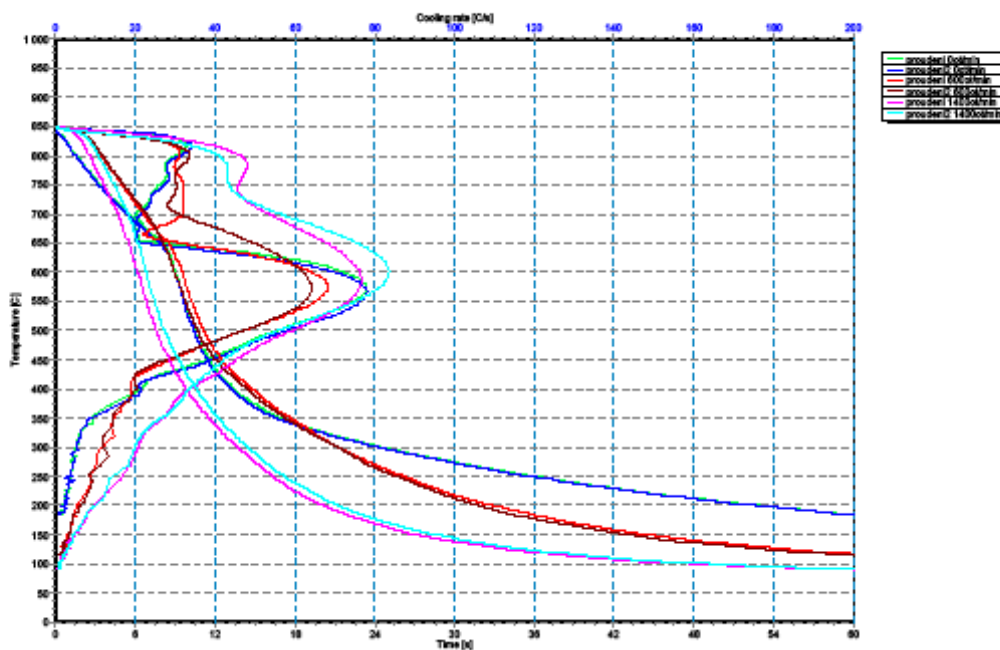
zvětšení
vergrößert 100 Xleptáno
geätzt 2 % NitalII. Zhodnocení / Bewertung : Zkoušené parametry dílů vyhovují TL 4521, EN 10084 a požadavkům výkresové dokumentace.
Die Materialeigenschaften entsprechen TL 4521, EN 10084 und den Zeichnungsvorgaben.

Rozdělovník Verteiler	Vilim Milan VAH-2	Svačina Josef VAT-5	Albrecht Martin VAH-2	Podkovíček Josef VAT-3	Vyřádek pracovníka VAT 5
Datum	Vypracoval Erarbeitet	Ing. Jaroslava CHADIMOVÁ Tel. +420 326 814062 milko.jaroslava.chadimova@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Leitung Labor	Petr VENERA Tel. +420 326 812935 milko.petr.venera@skoda-auto.cz
2.10.09					

Podpsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

IVF SmartQuench Compare Report

Date of report	1.12.2009	Probe No.	
Report No.		Ref. medium	TK46
Date of test		Product type	
Test site	SKODA	Medium temp. [C]	60
Operator		Medium conc. [%]	
Folder		Agitation rate [m/s]	
Approved		Ref. to standard	
Comments			



Property	Unit	proudeni 600m/s	proudeni 1400m/s	proudeni 600m/s	proudeni 2 000m/s	proudeni 2 1400m/s	proudeni 2 600m/s
Maximum Cooling Rate	C/s	77.96	76.67	68.19	78.19	83.68	64.14
Temp. at Max. Cooling Rate	C	570.65	588.53	571.7	564.82	599.81	571.31
Temp at Start of Boiling	C	661.82	744.42	665.73	658.4	765.09	715.69
Temp at Start of Convection	C	375.55	175.22	407.48	404.84	235.86	418.49
Cooling Rate at 300 C	C/s	4.77	20.52	11.83	4.79	19.81	12.59
Time to 600 C	s	10.07	7.23	10.61	10.17	7.83	10.14
Time to 400 C	s	14.63	11.02	15.98	14.31	11.77	15.42
Time to 200 C	s	53.94	21.31	33.91	53.84	22.45	32.82
Theta 1	C	662.41	739.13	664.17	657.55	760.19	713.39
Theta 2	C	410.22	397.35	426.25	409.1	395.61	432.49
HP-IVF (oils)		282.42	1173.99	104.13	221.61	1026.6	108.71
HP-IVF (polymers)		157.3	353.4	243.19	175.71	367.57	206.17

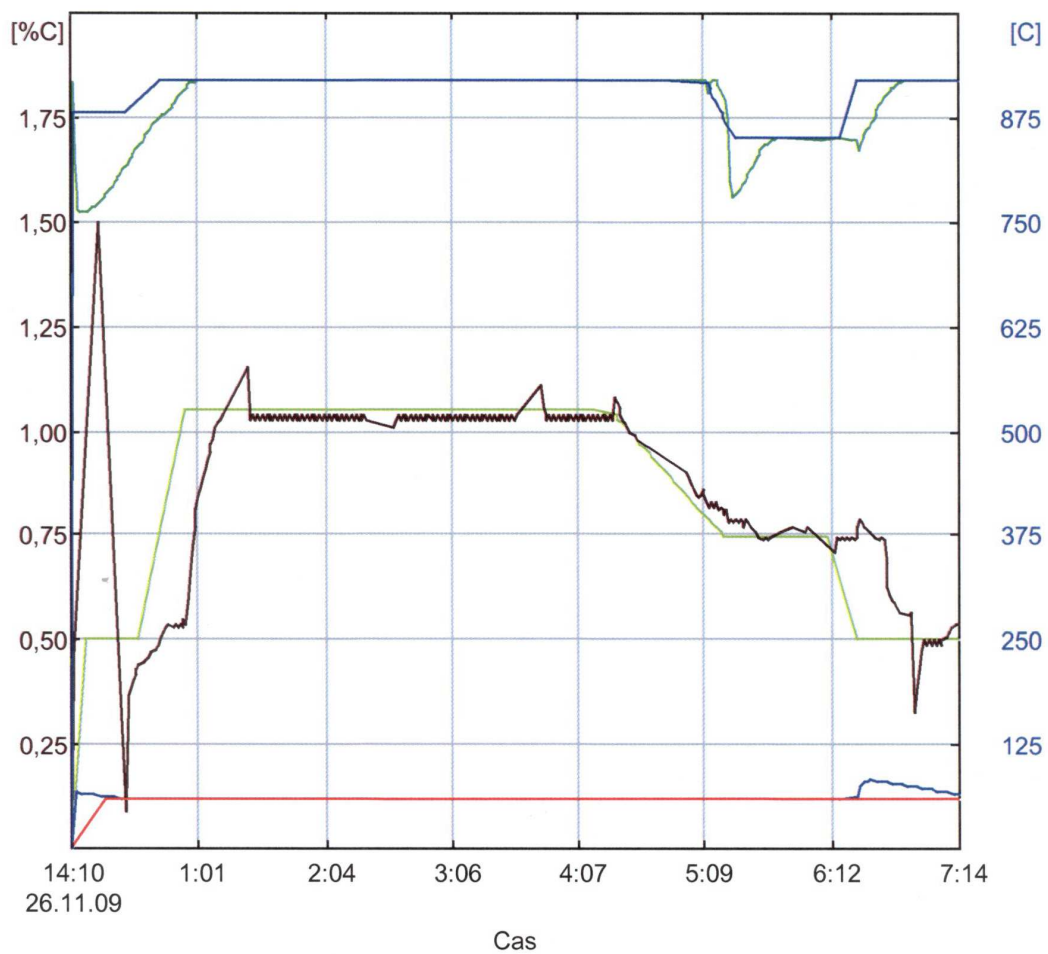
Page number: 1

PŘÍLOHA Č. 3: Rozložení kusů HKR na roštu

931	941		942		943		944	945		
921	932		922	933		934		935		9
8		912		943		914	924	915	10	
831	841		842		843		844	845		8
821	832		822	833		834		835		
811		812		813		814	824	815	825	
731	741		742		743		744	745		7
721	732		722	733		734		735		
711		712		713		714	724	715	725	
631	641		642		643		644	645		6
621	632		622	633		634		635		
611		612		613		623	624	625	615	
531	541		542		543		544	545		5
521	532		522	5		534		535		
4		512		513	6	514	524	515	7	
431	441		442		443		444	445		4
421	432		422	433		434		435		
411		412		413		423	424	415	425	
	341		342		343		344	345		3
	321	331	322	332		323	333	324	334	
		311		312		313		314	325	
	241		242		243		244	245		2
	221	231	222	232		223	233	224	234	
		211		212		213		214	225	
	1		142		143		144	145		1
	121	131	122	132		123	133	124	134	
		111		112	2	113		114	3	

→
Směr do pece

Doklad o tepelném zpracování



nastavená teplota cementace

skutečná teplota cementace

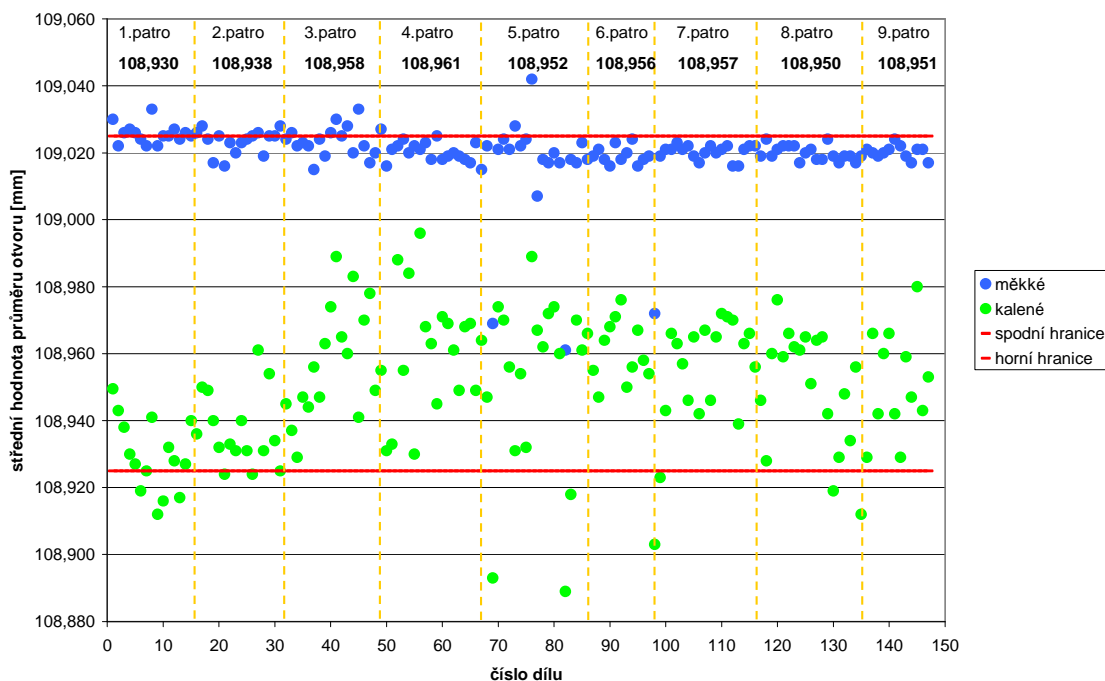
nastavené množství C_p skutečné množství C_p

nastavená teplota oleje

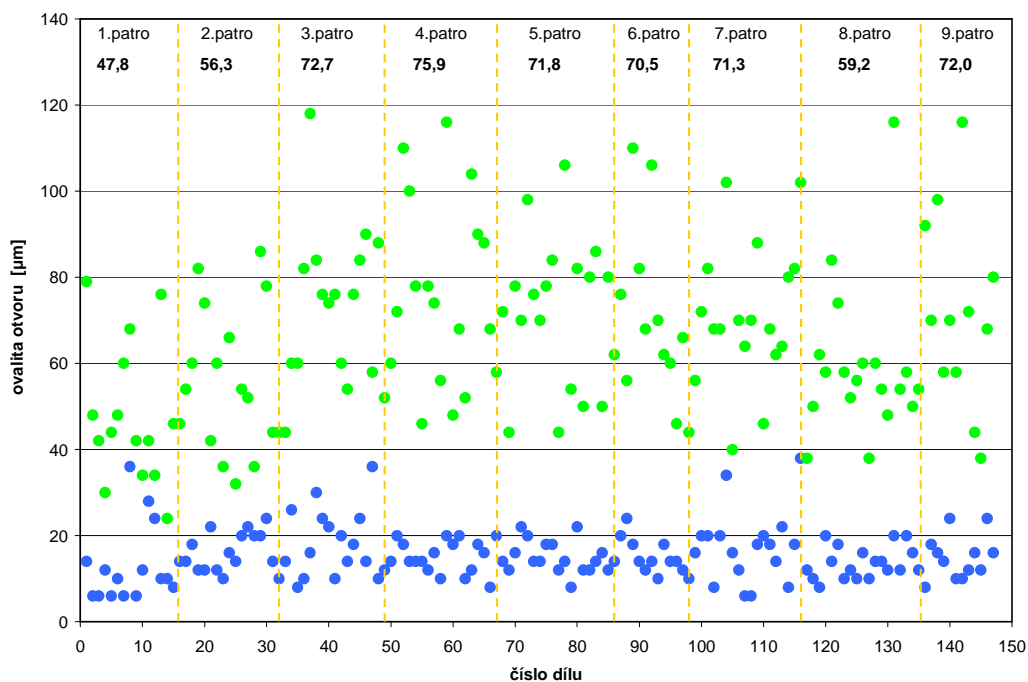
skutečná teplota oleje

Měření č. 1: 5.6.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: P01
 teplota kalení: 840°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 5.6.2009

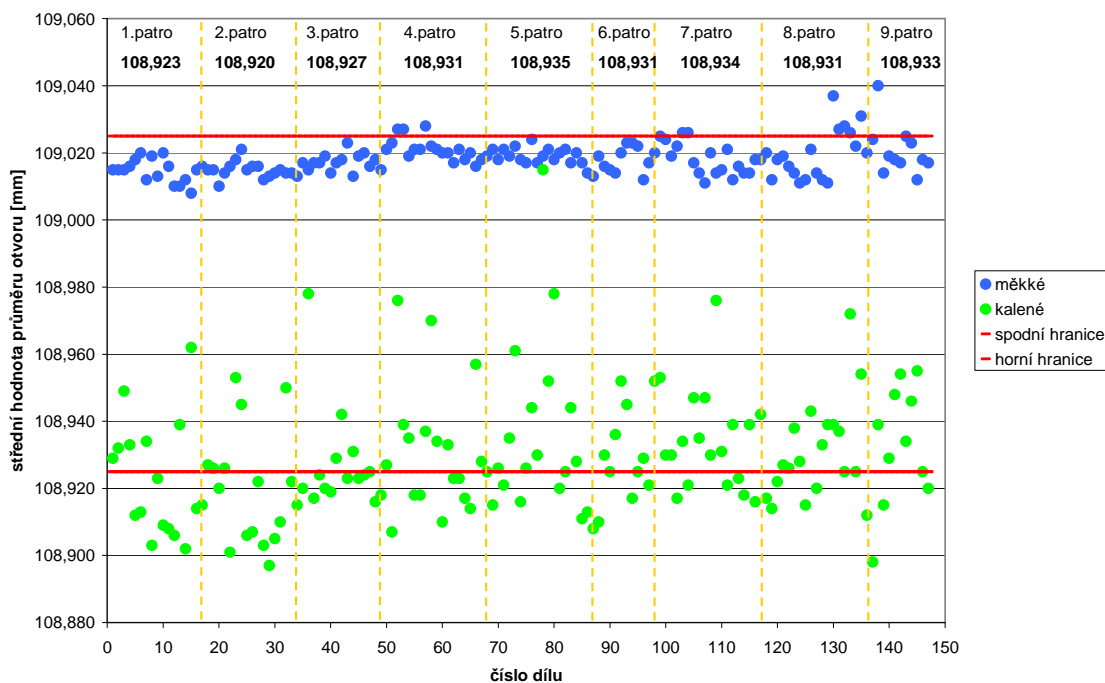


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 5.6.2009

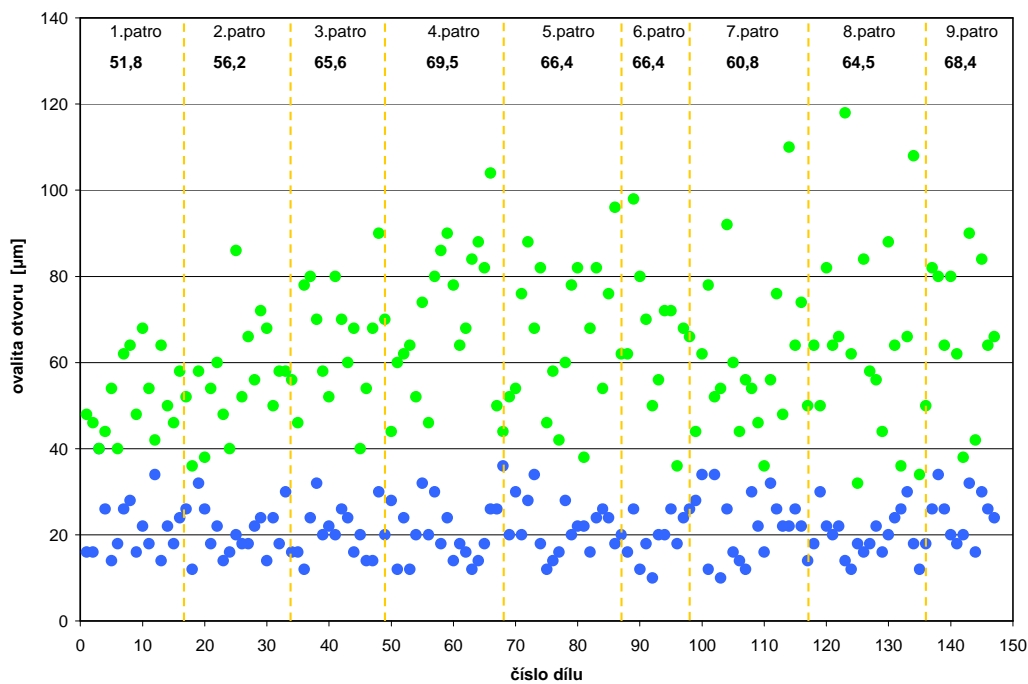


Měření č. 2: 11.6.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: P01
 teplota kalení: -

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 11.6.2009

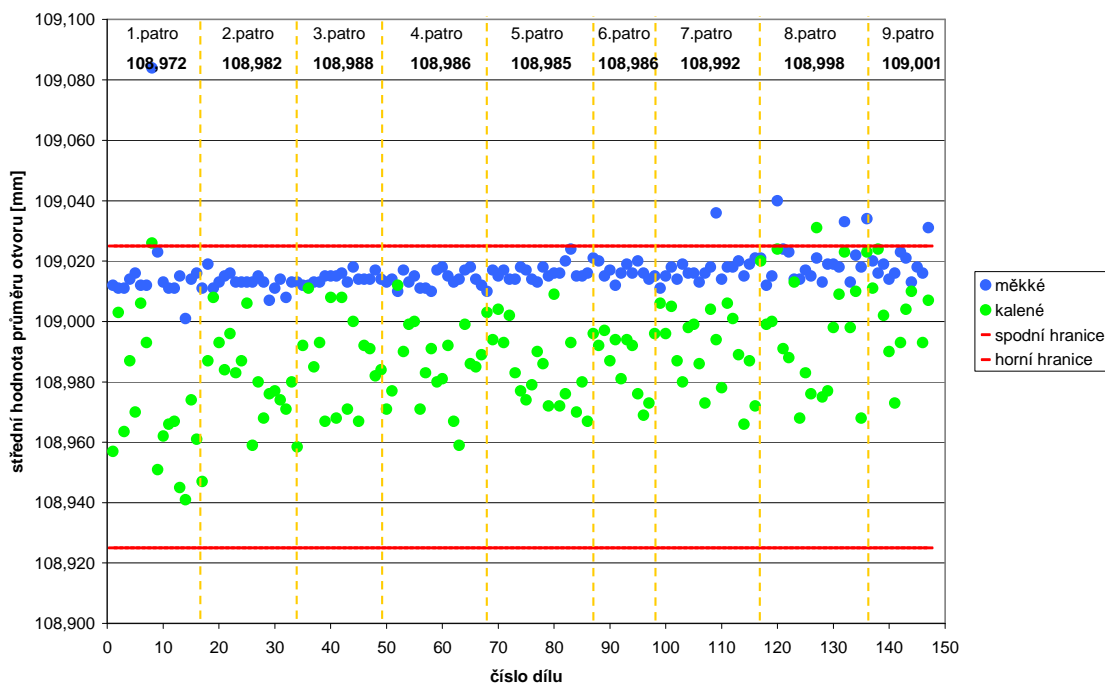


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 11.6.2009

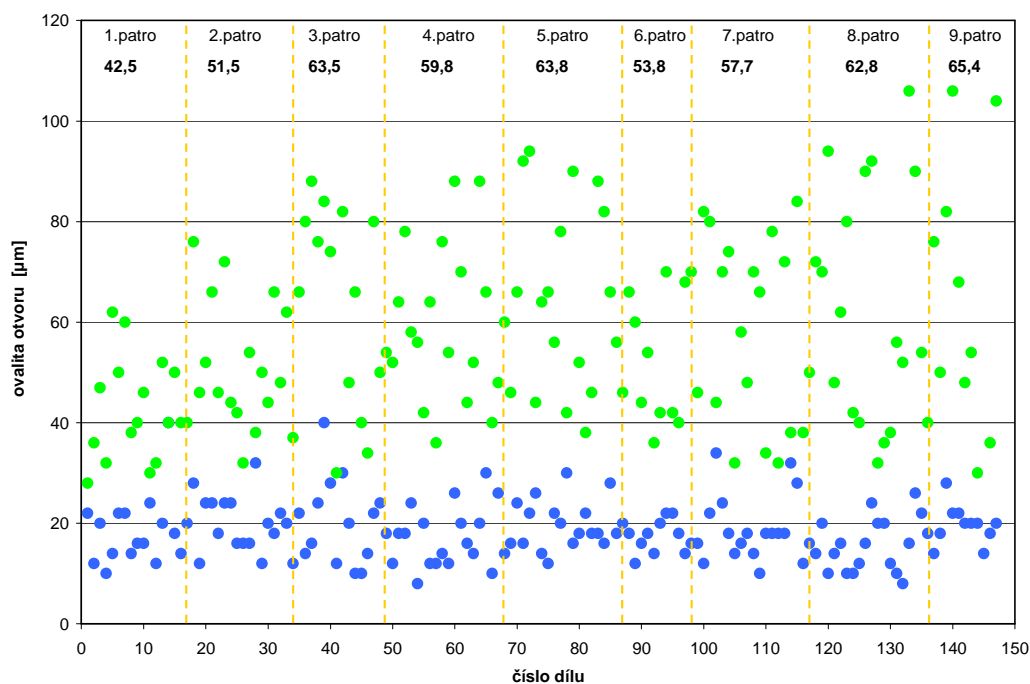


Měření č. 3: 22.6.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: P01
 teplota kalení: 820°C
 ke konci procesu vysoký uhlíkový potenciál

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 22.6.2009

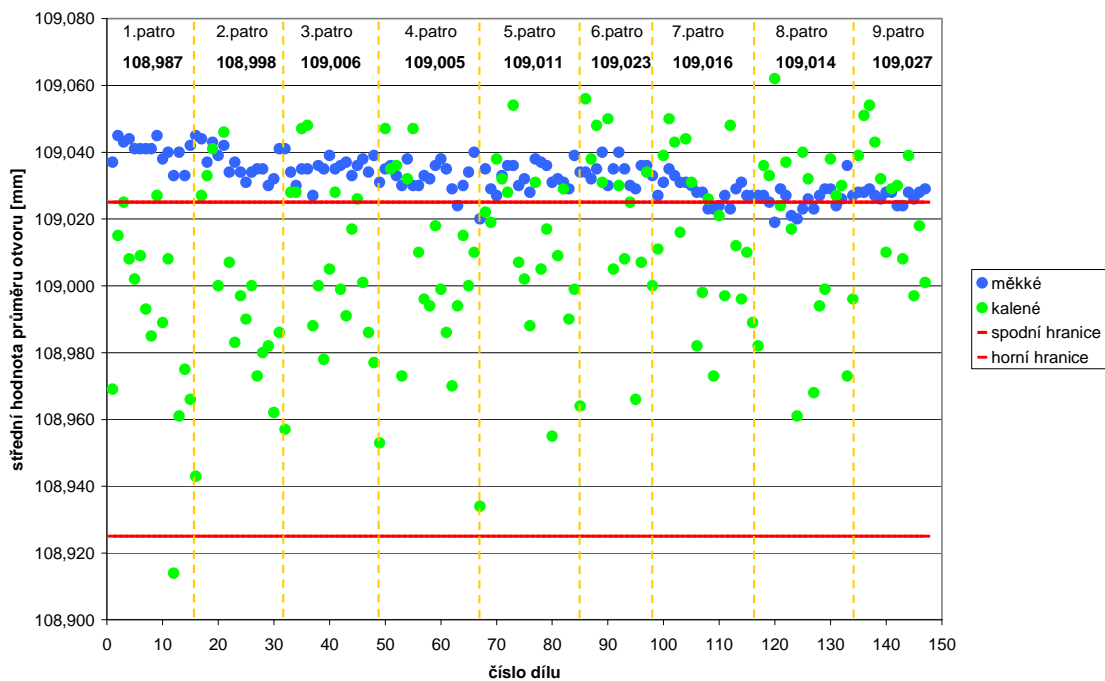


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 22.6.2009

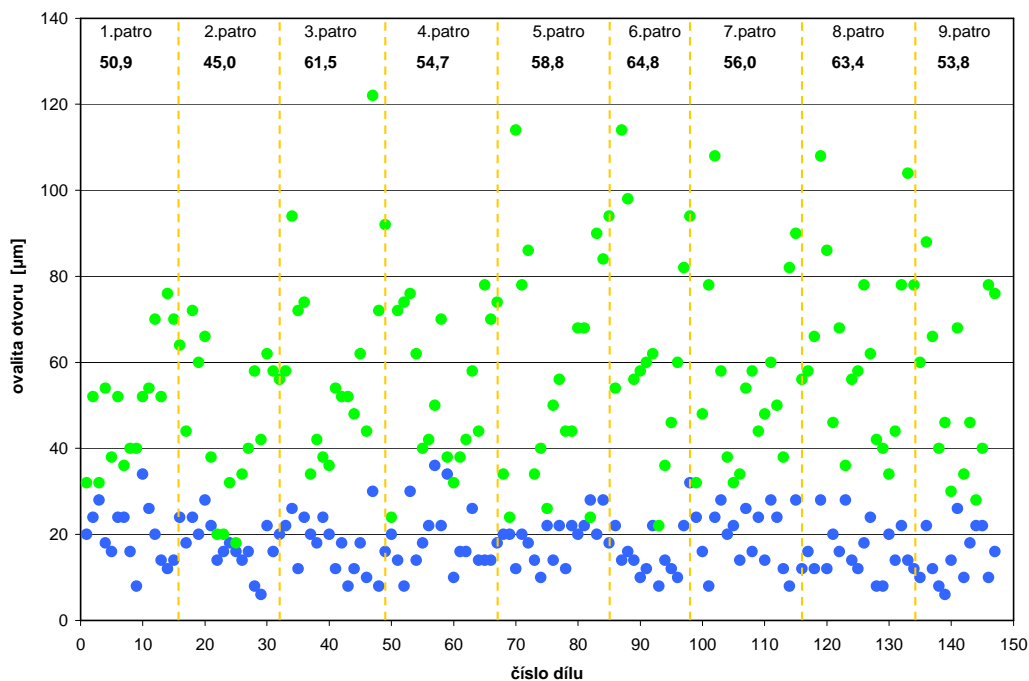


Měření č. 4: 14.7.2009: vsázková pec č.: 3
 tavba: P01
 teplota kalení: 810°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 14.7.2009

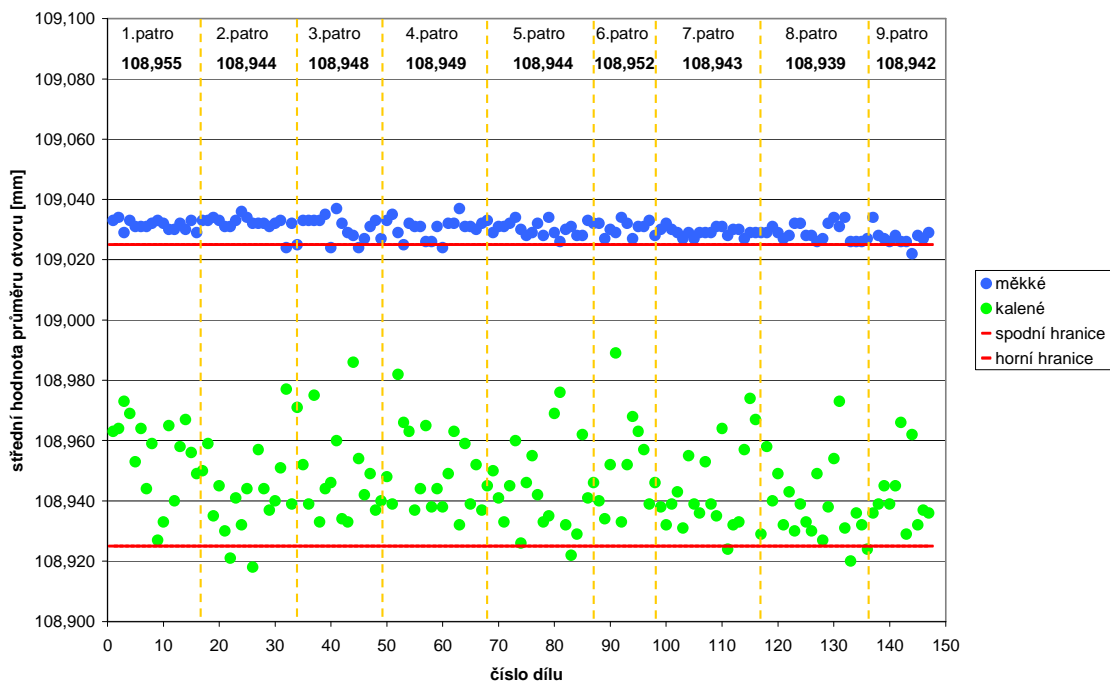


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 14.7.2009

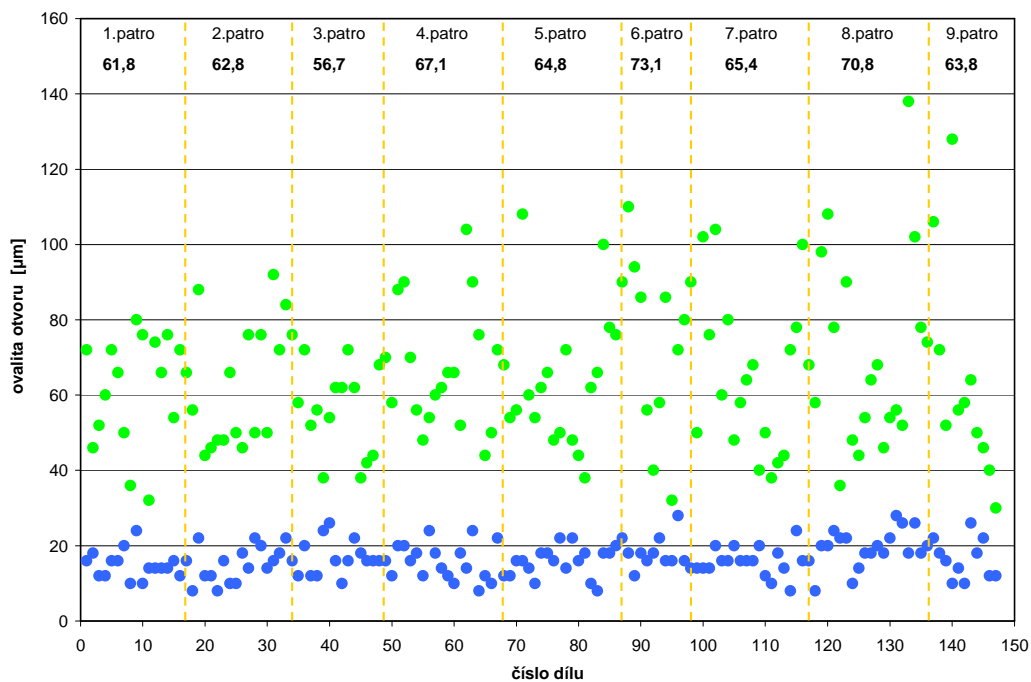


Měření č. 5: 17.7.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: P01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 17.7.2009

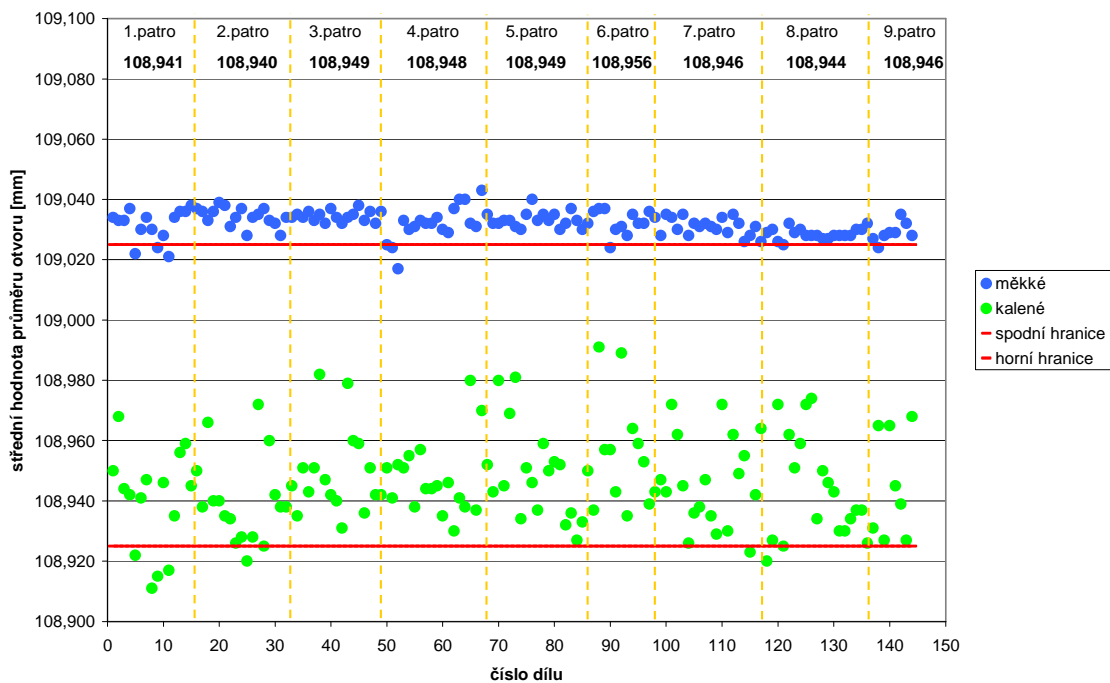


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 17.7.2009

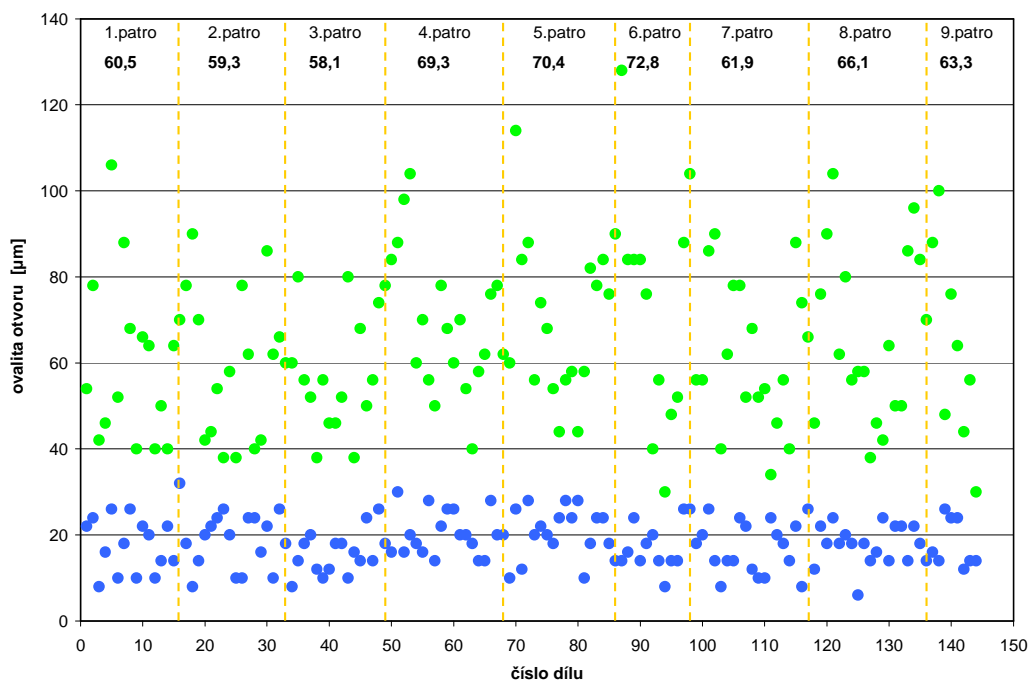


Měření č. 6: 28.7.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: P01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 28.7.2009

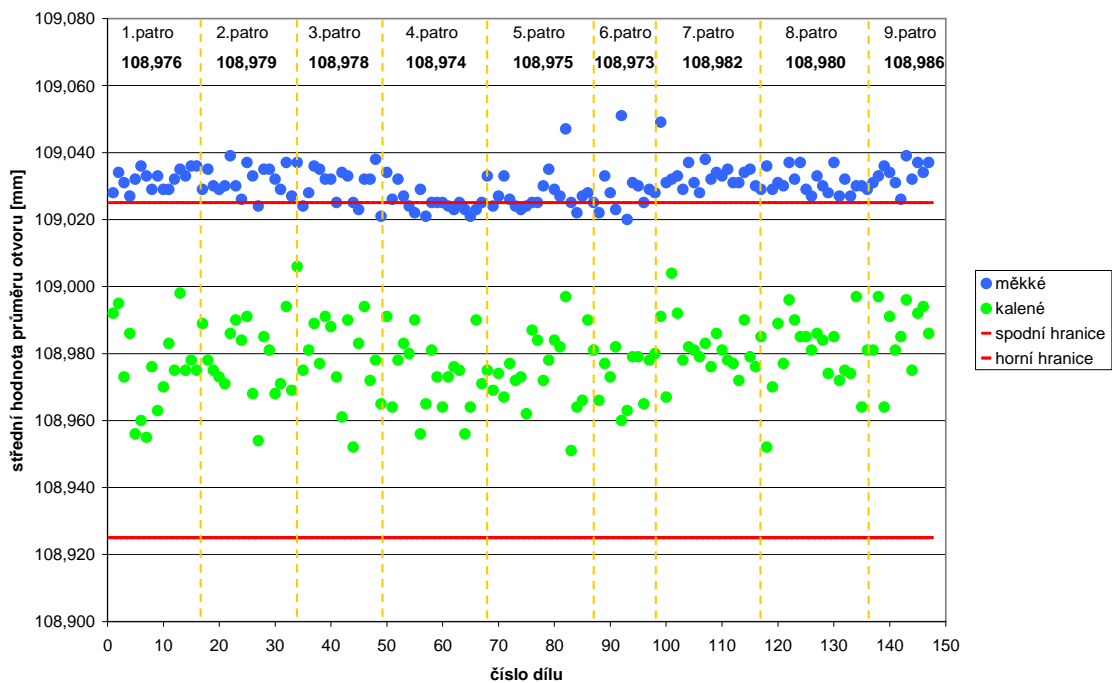


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 28.7.2009

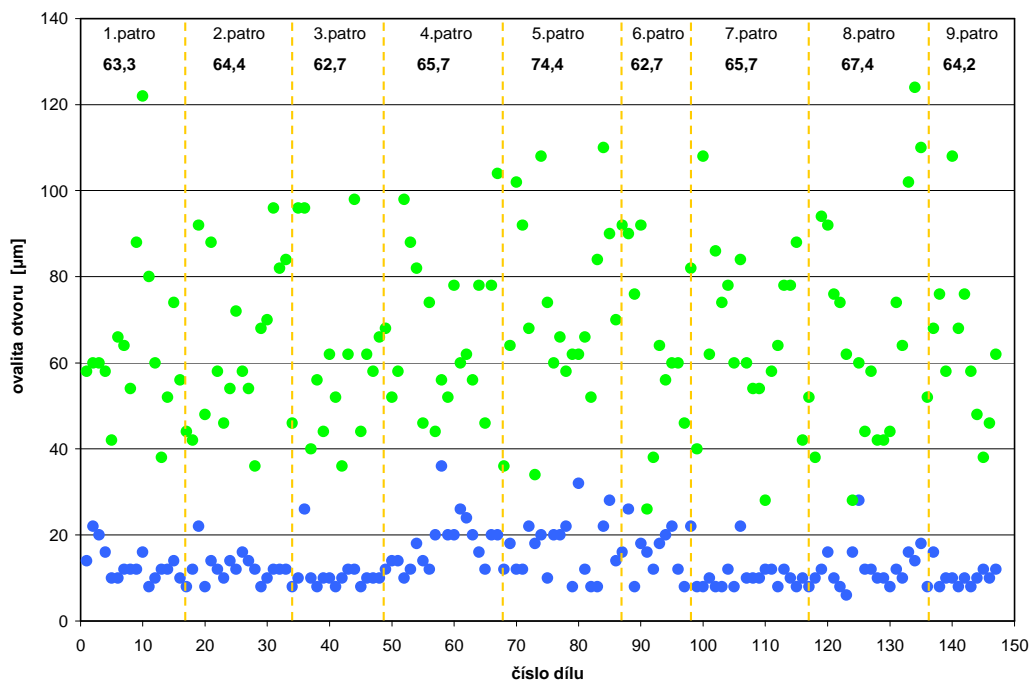


Měření č. 7: 31.7.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: S01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 31.7.2009

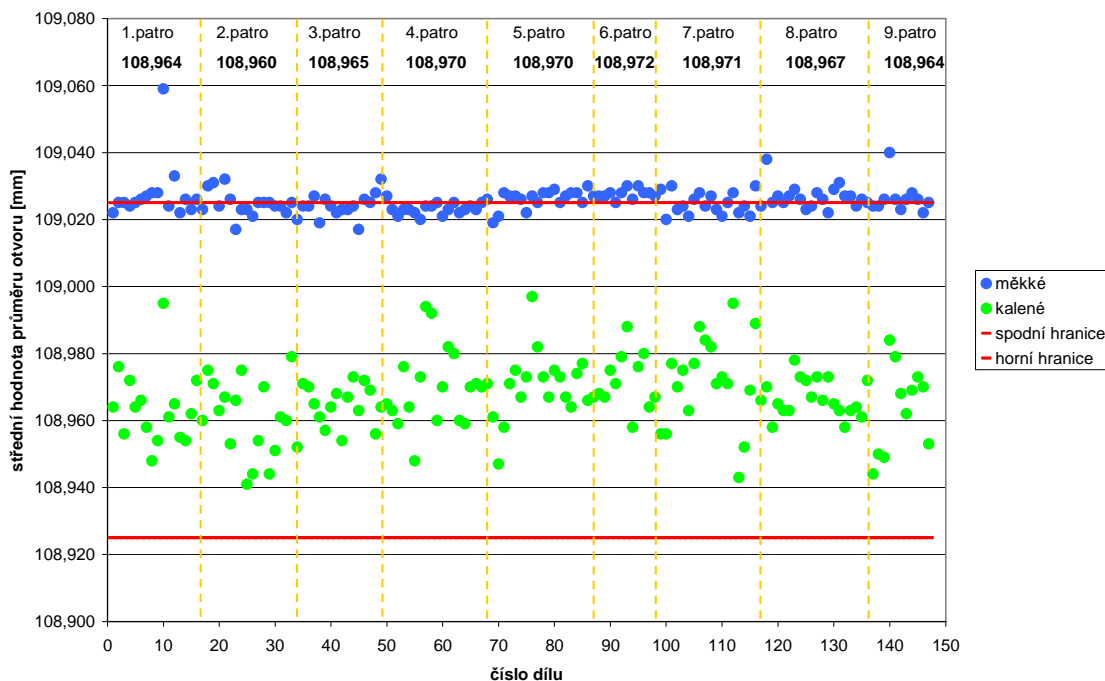


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 31.7.2009

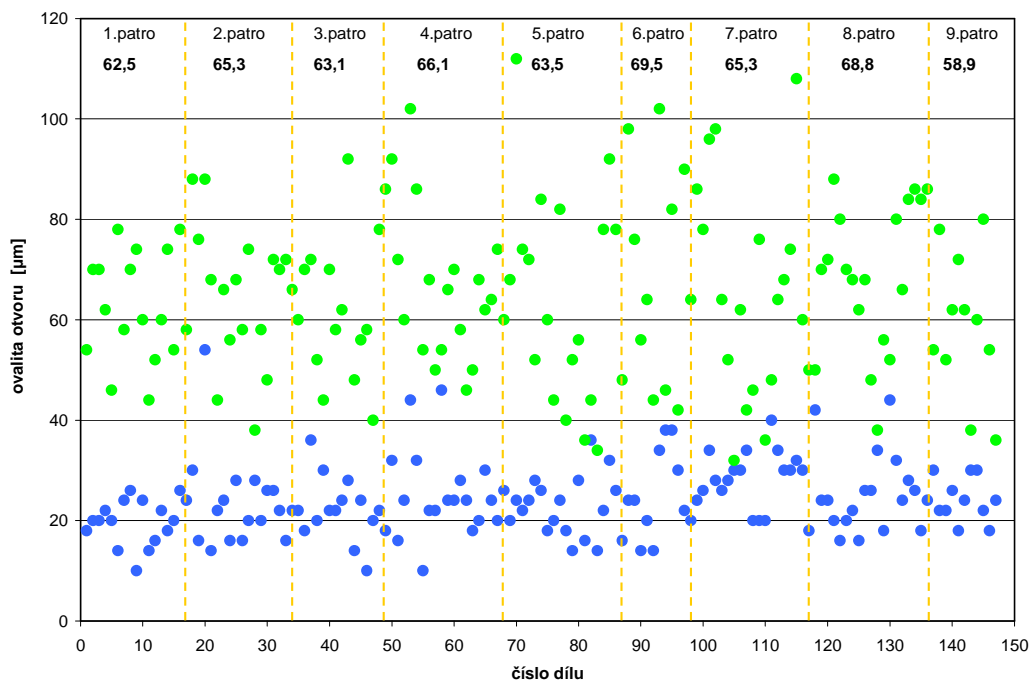


Měření č. 8: 20.8.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: S01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 20.8.2009

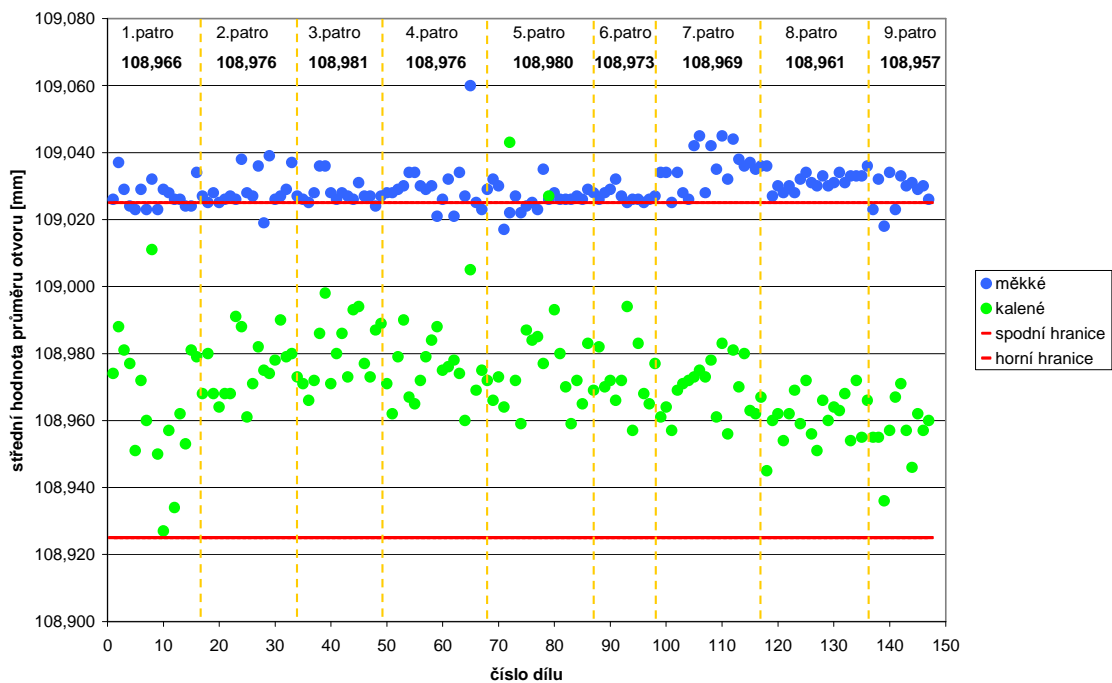


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 20.8.2009

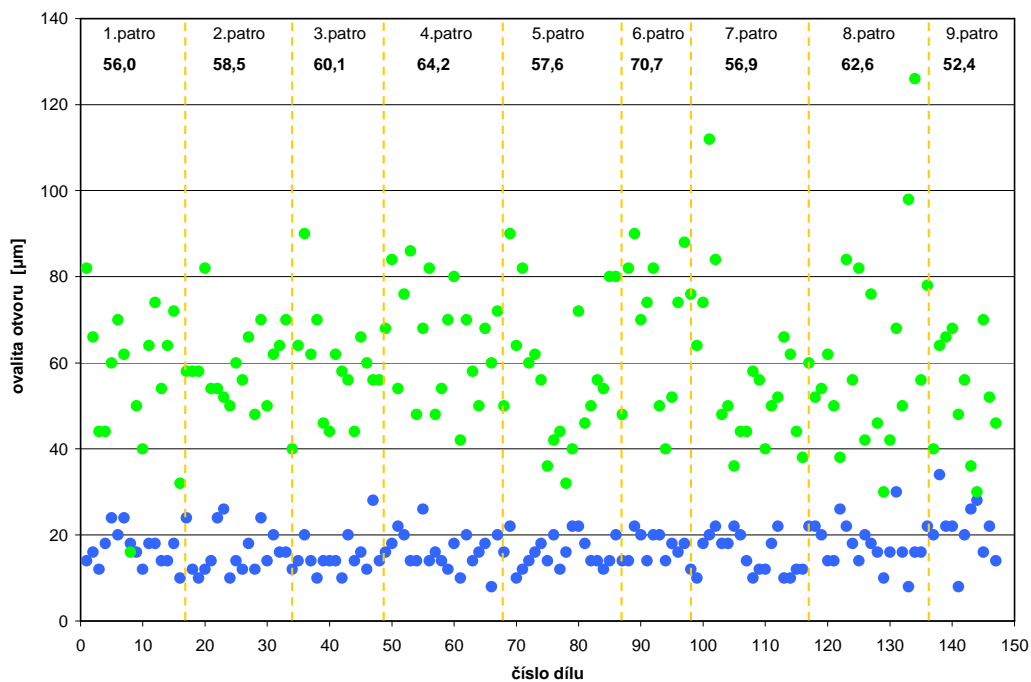


Měření č. 9: 3.9.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: S01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 3.9.2009

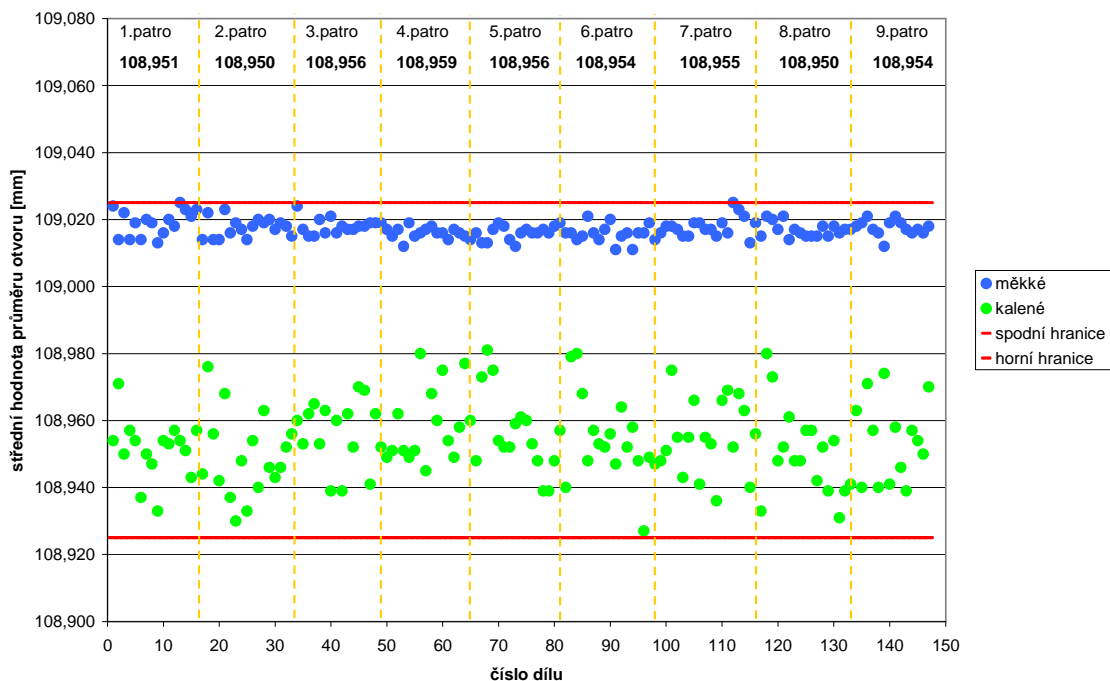


Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 3.9.2009

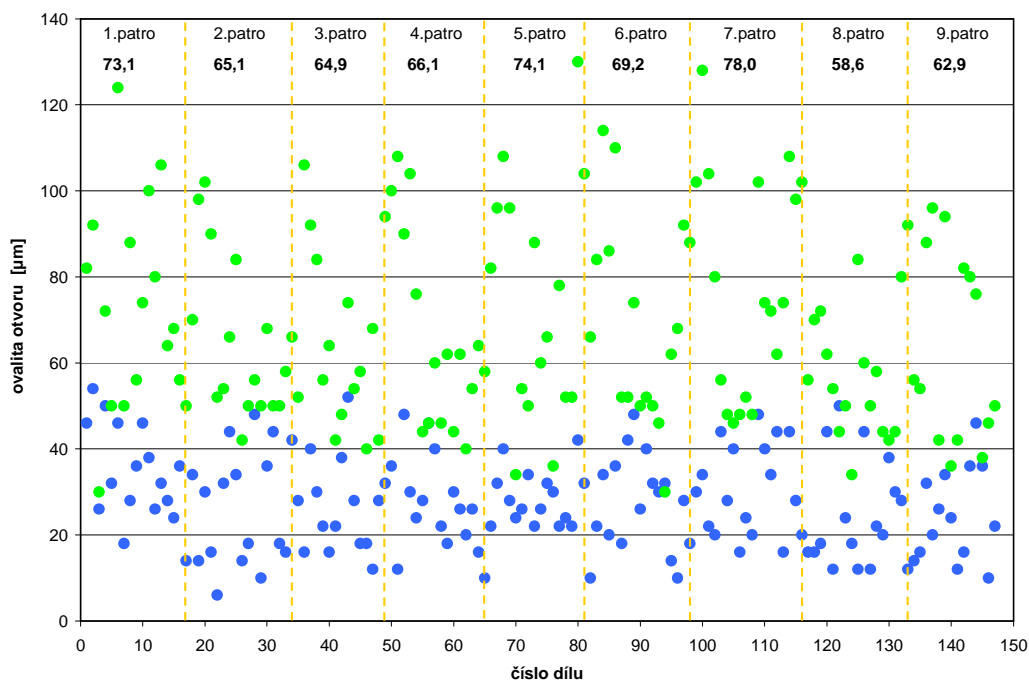


Měření č. 10: 27.9.2009: vsázková pec č.: 1
 tavba: Z01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 27.9.2009



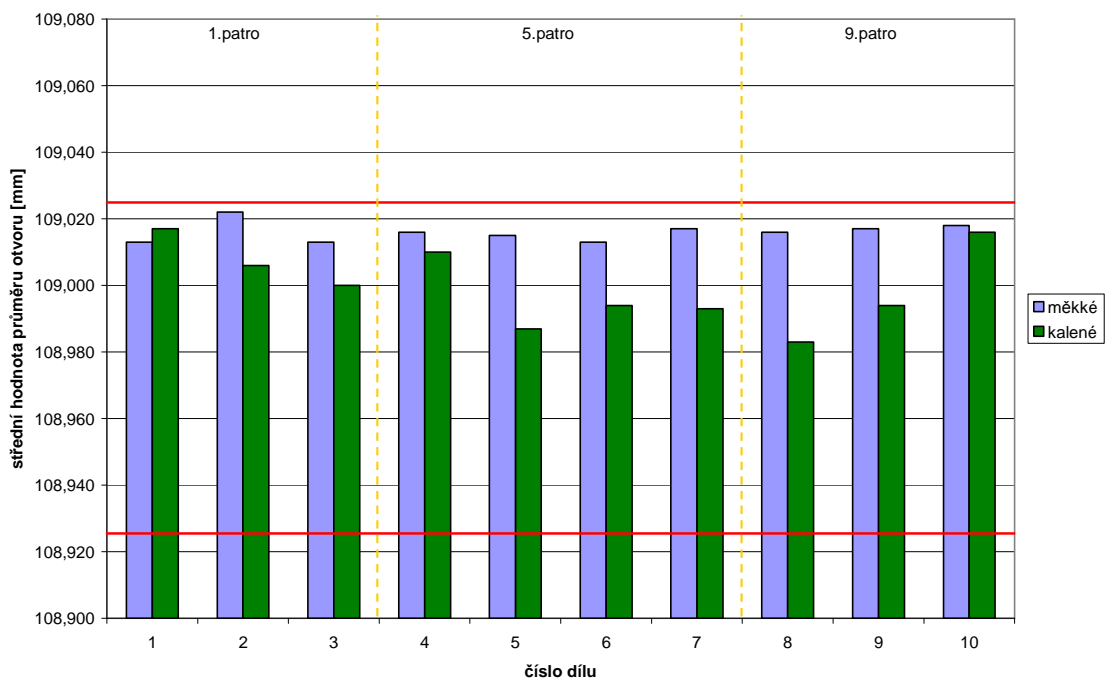
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 27.9.2009



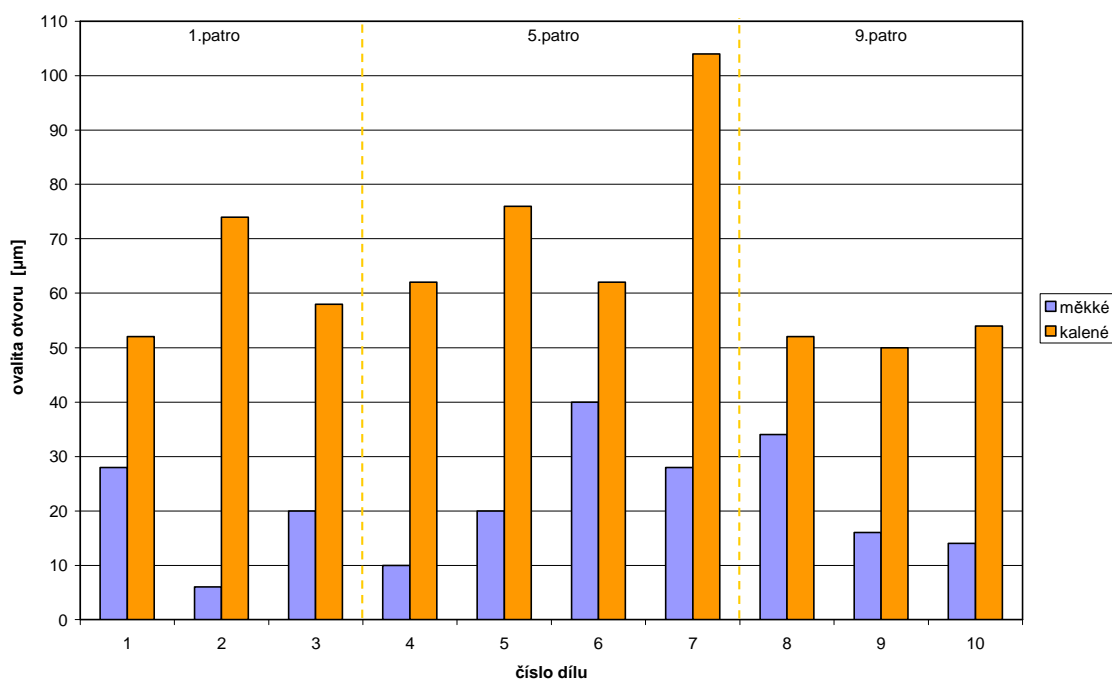
Experiment č. 1:

proudění oleje: 2.krok: 60s/0ot, 3.krok: 700ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 13.11.2009



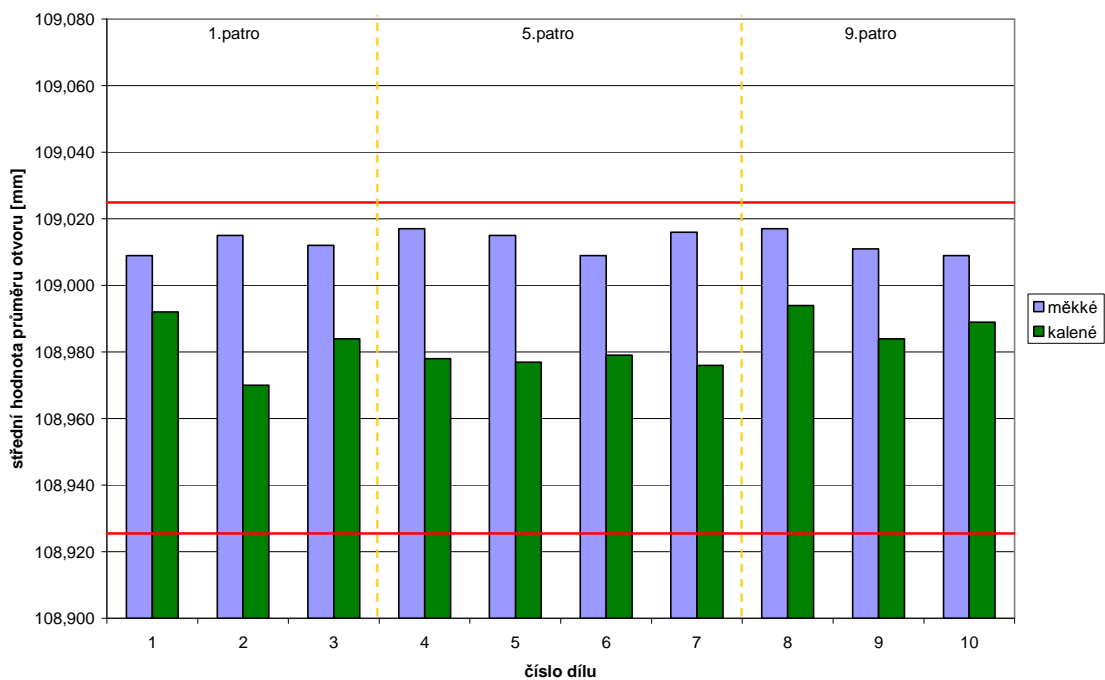
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 13.11.2009



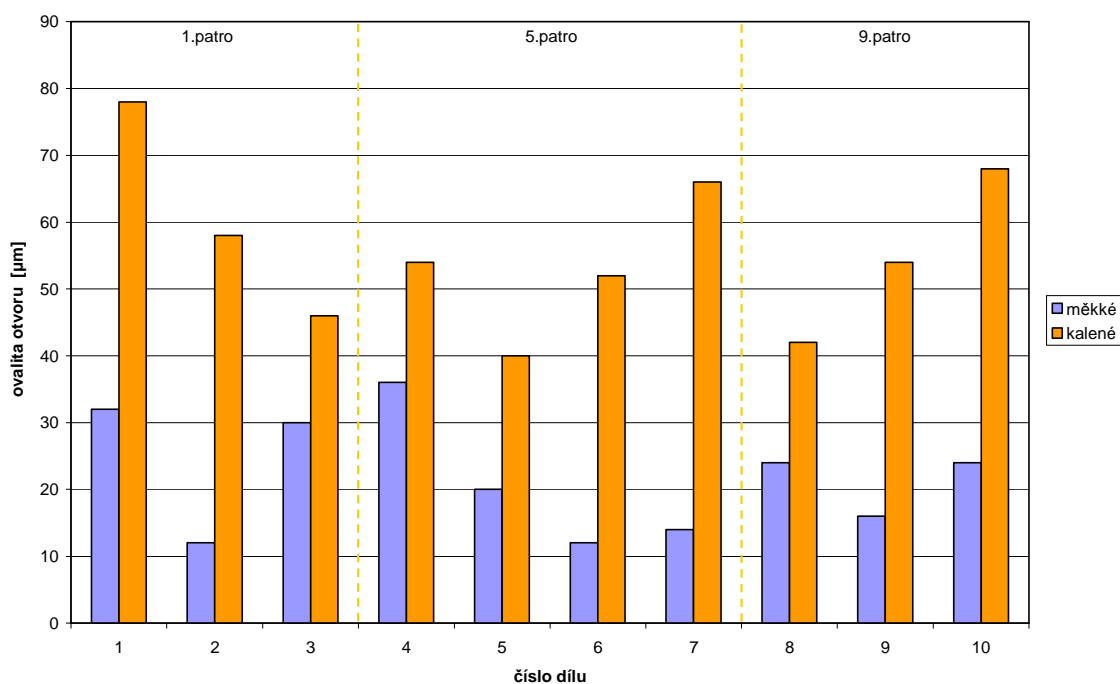
Experiment č. 2:

proudění oleje: 2.krok: 60s/0ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 16.11.2009



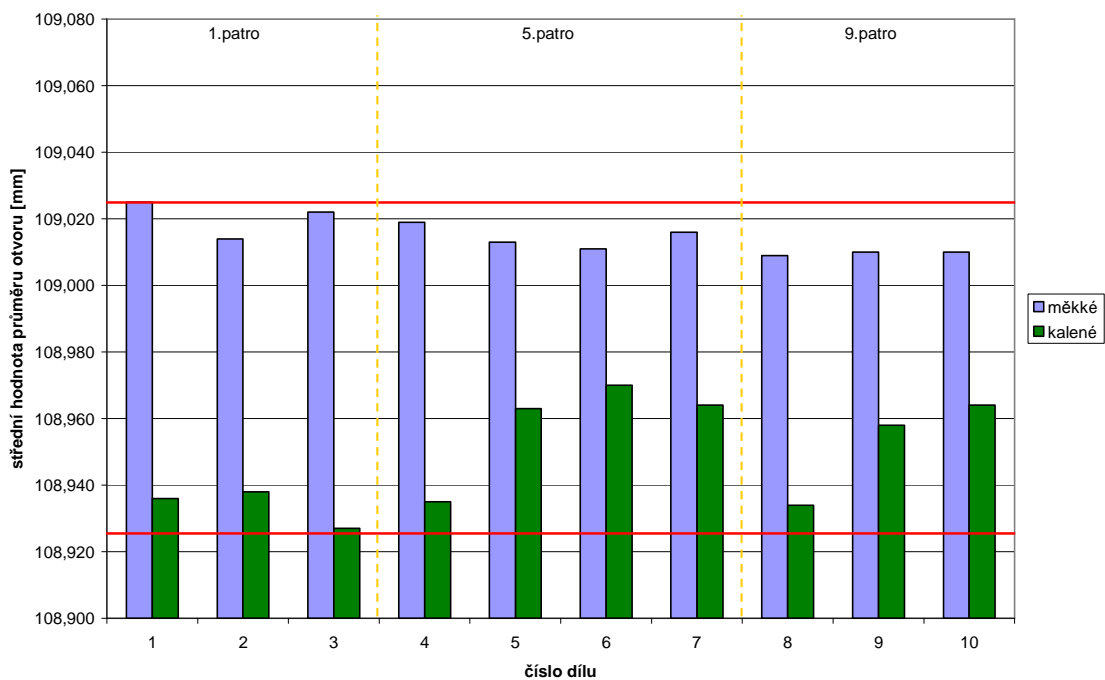
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 16.11.2009



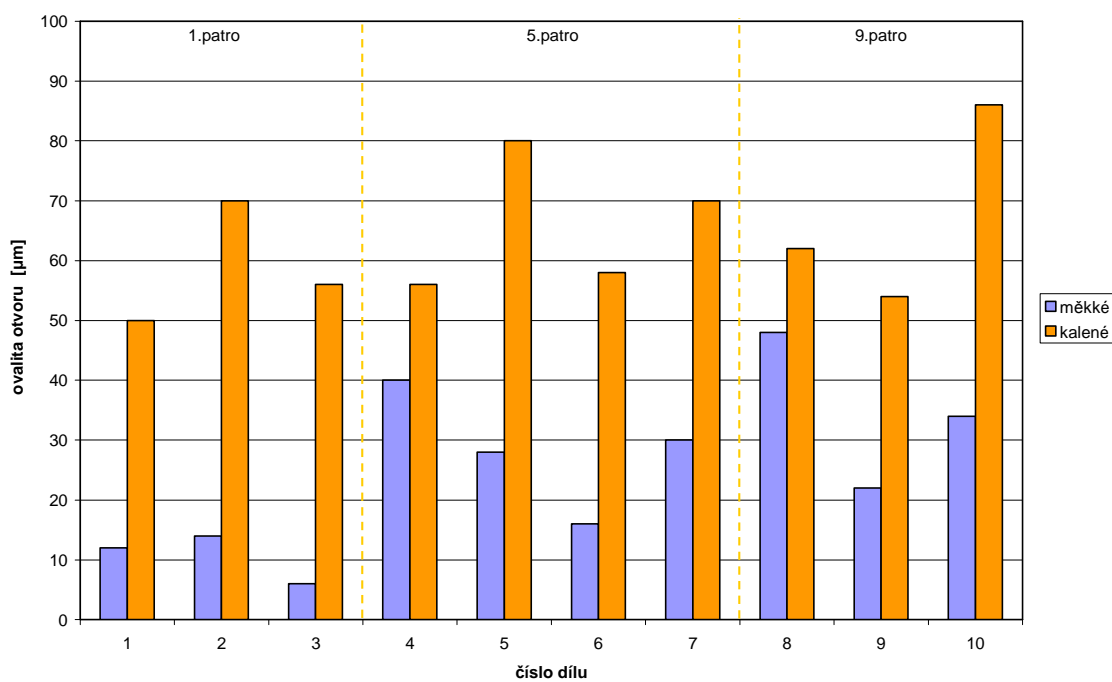
Experiment č. 3:

proudění oleje: 2.krok: 60s/900ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 18.11.2009



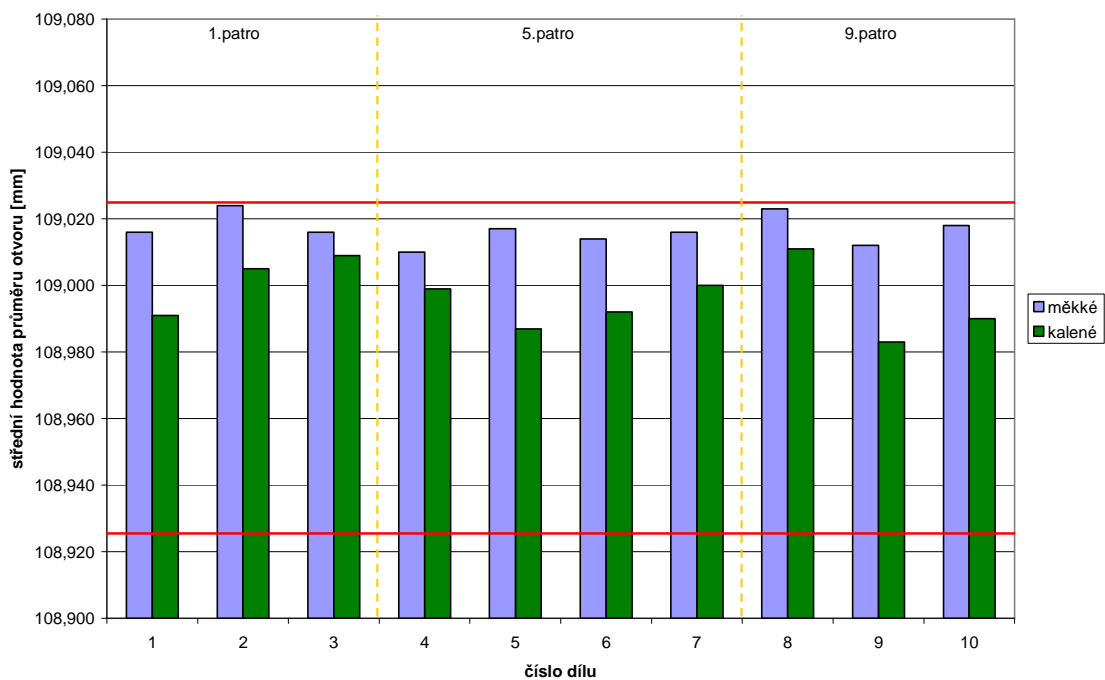
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 18.11.2009



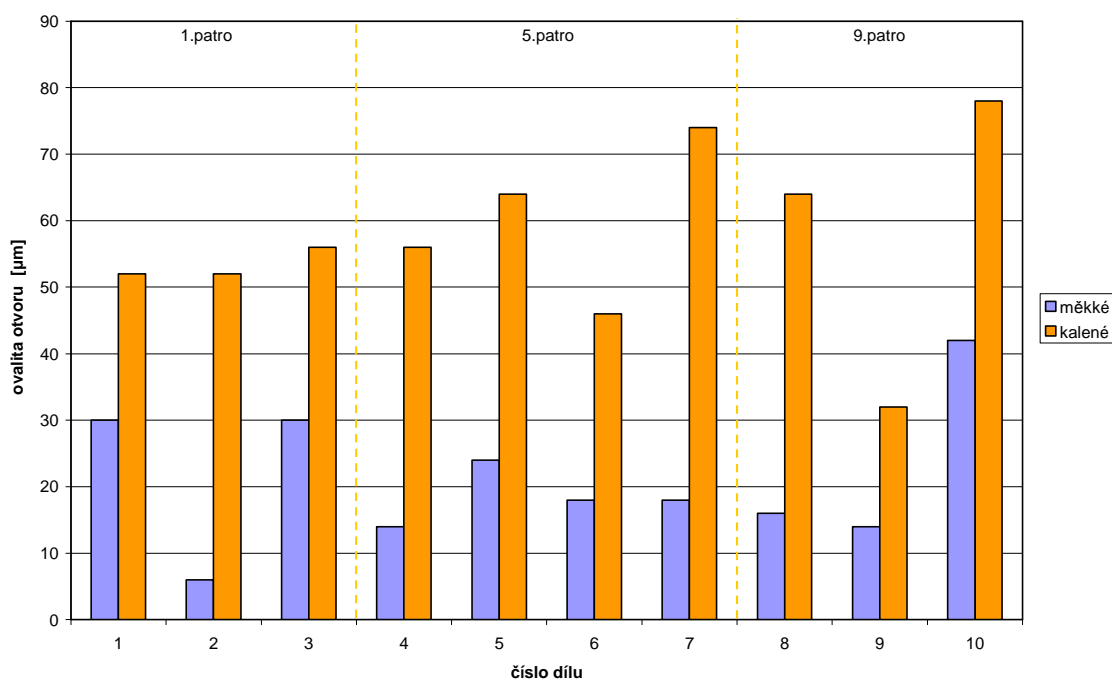
Experiment č. 4:

proudění oleje: 2.krok: 30s/0ot, 3.krok: 700ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 19.11.2009



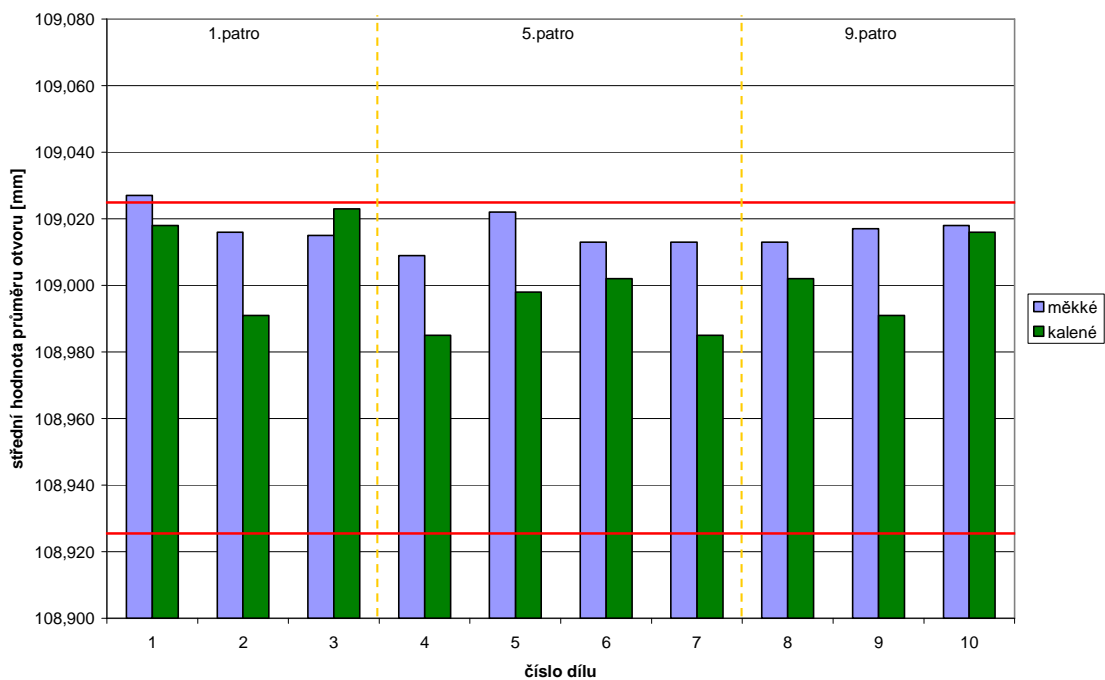
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 19.11.2009



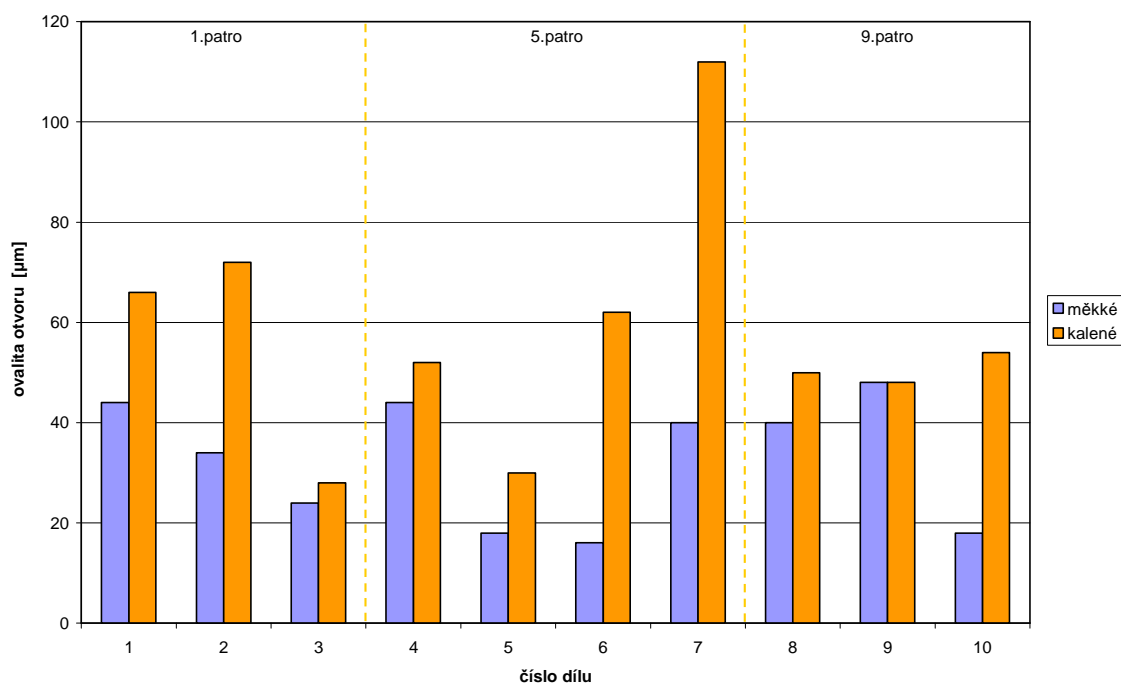
Experiment č. 5:

proudění oleje: 2.krok: 30s/0ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 20.11.2009



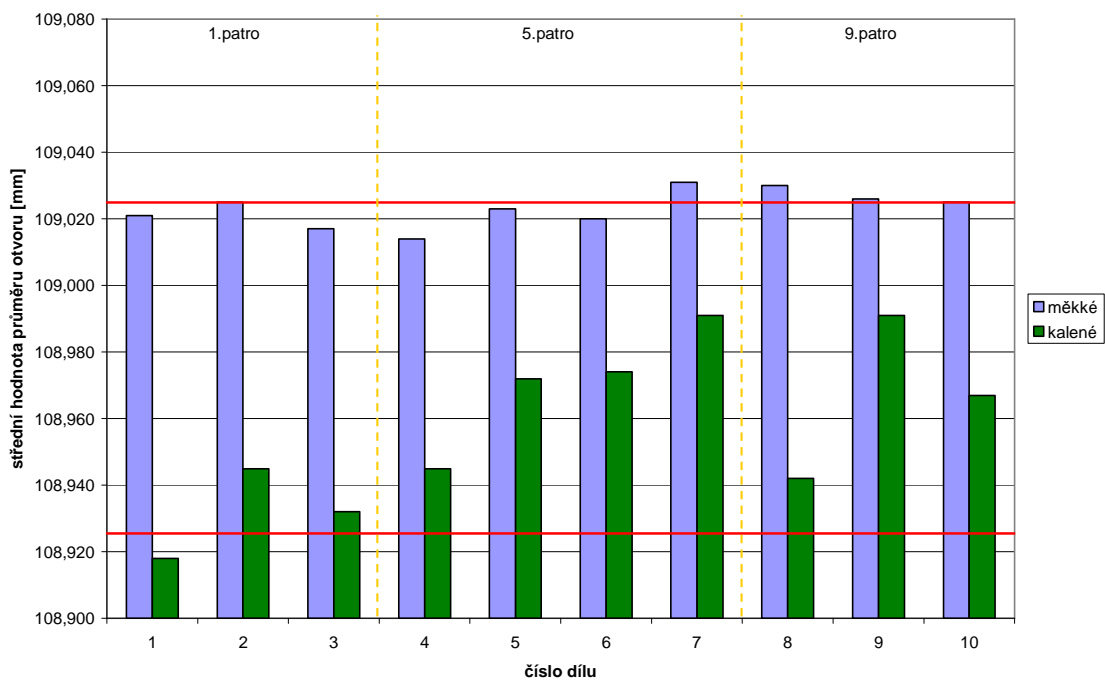
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 20.11.2009



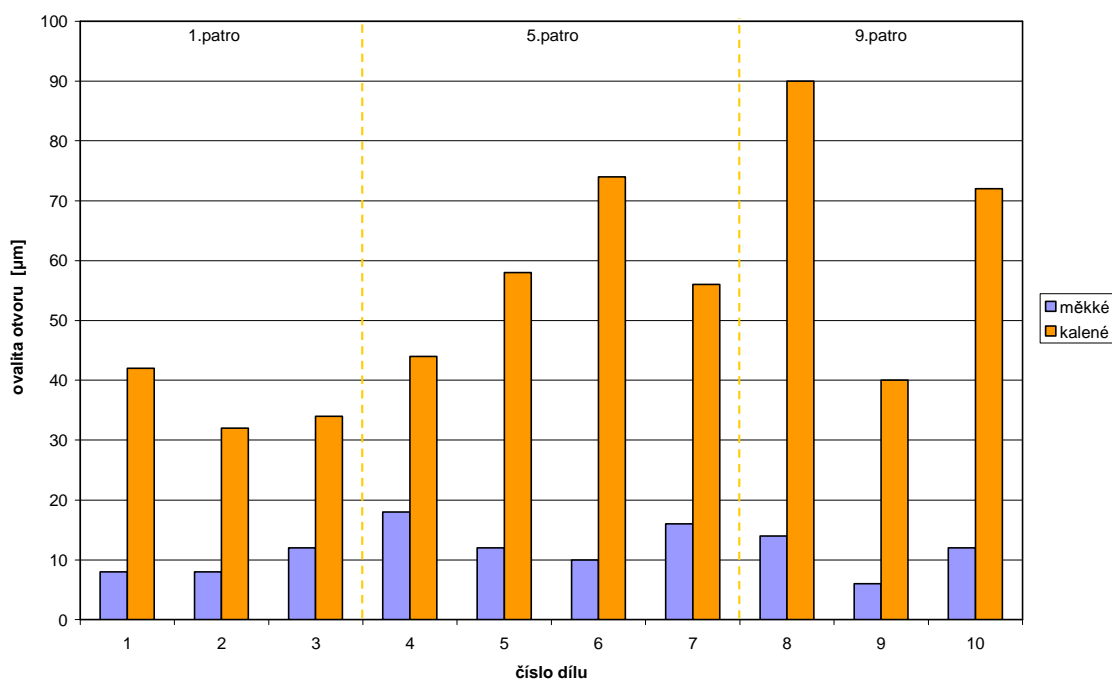
Experiment č. 6:

proudění oleje: 2.krok: 30s/900ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 26.11.2009



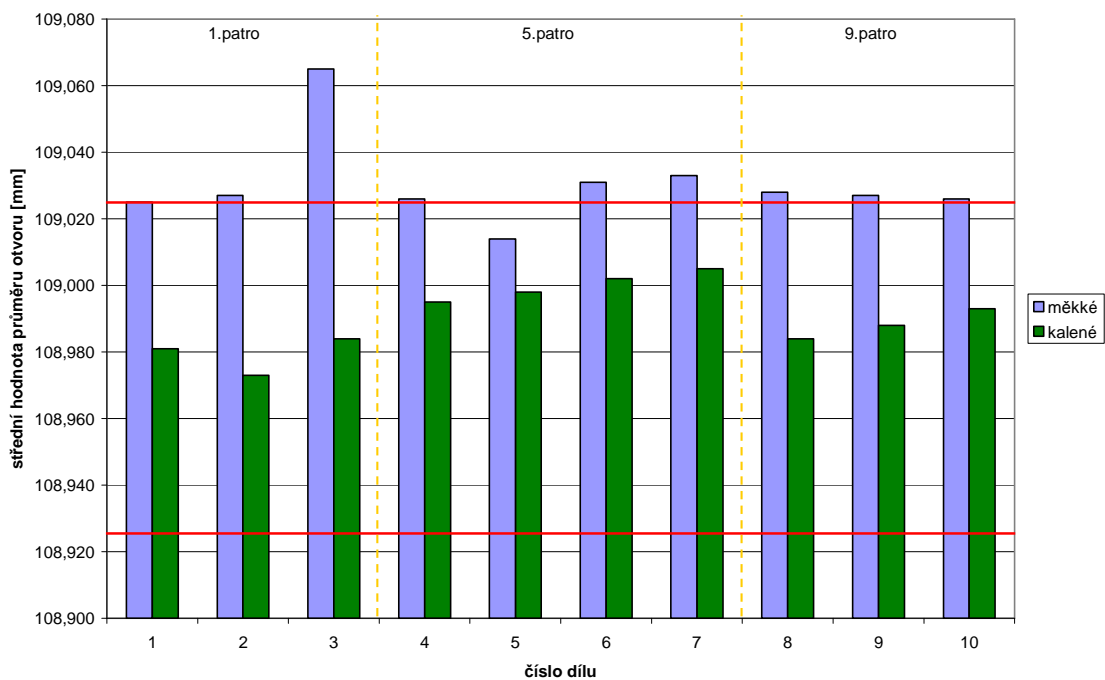
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 26.11.2009



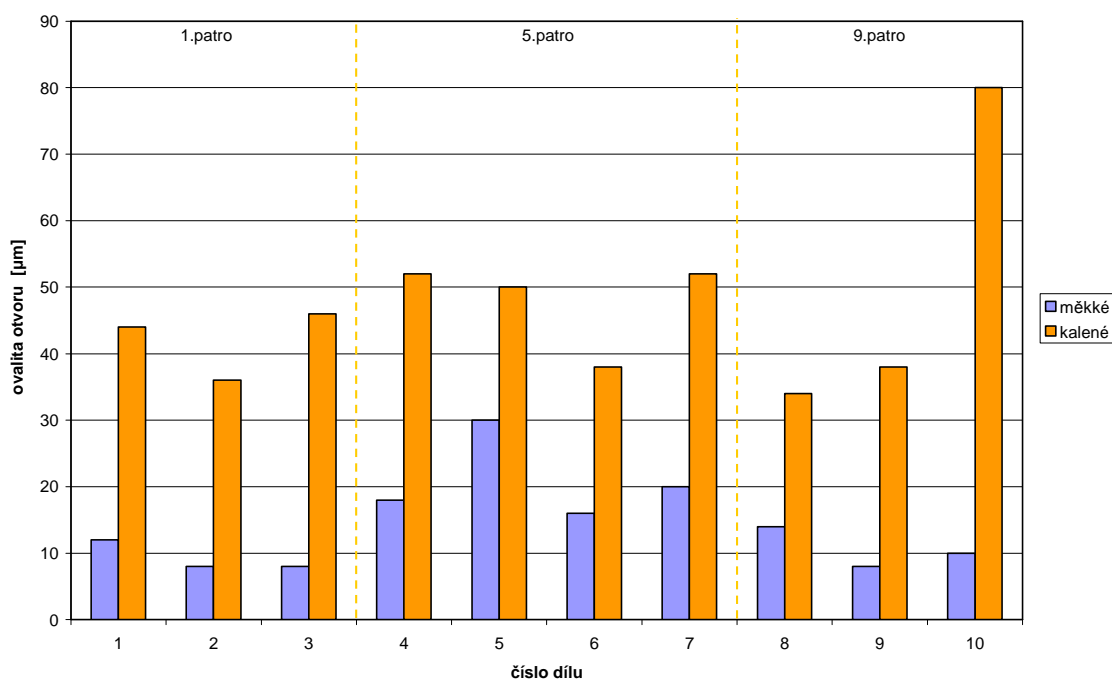
Experiment č. 7:

proudění oleje: 2.krok: 60s/600ot, 3.krok: 700ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 27.11.2009



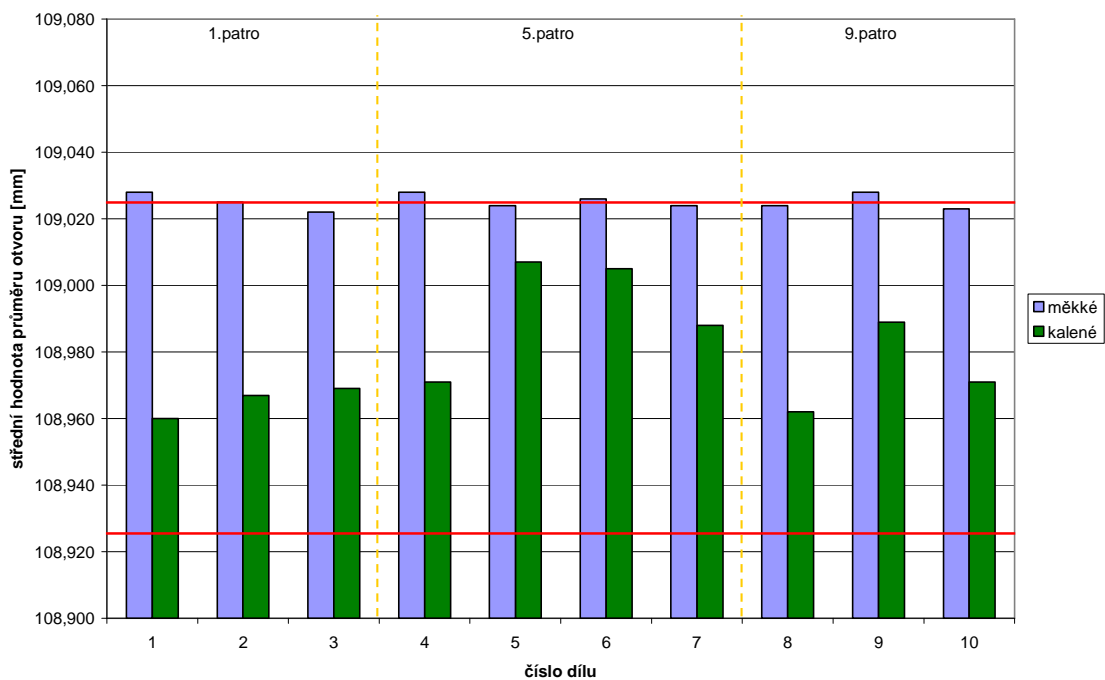
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 27.11.2009



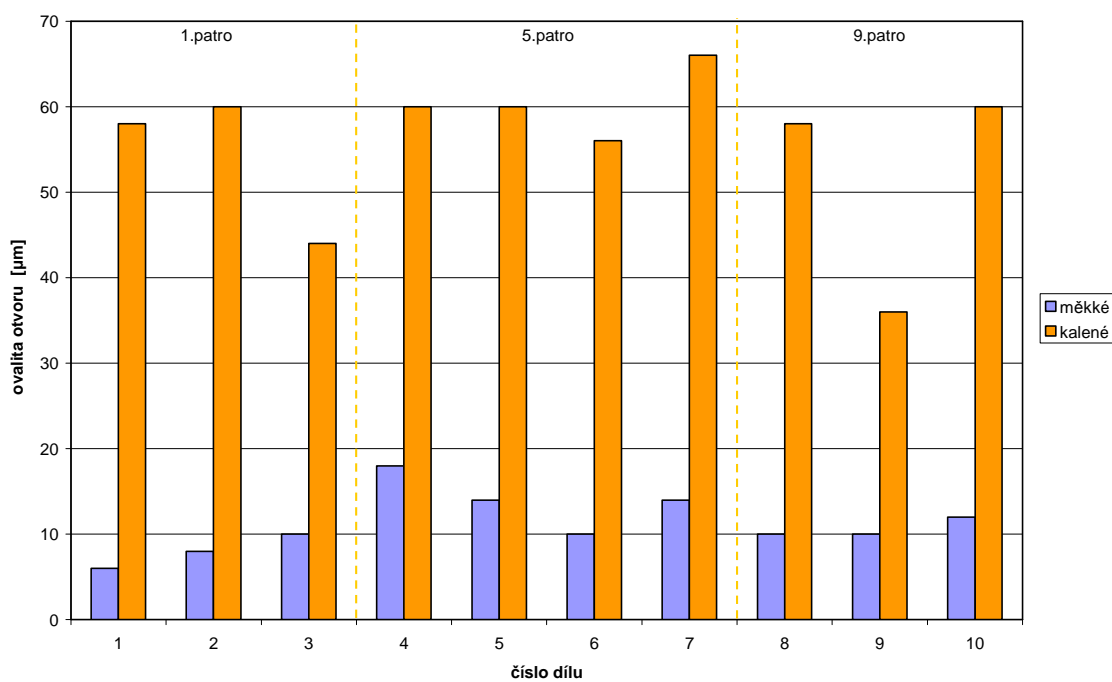
Experiment č. 8:

proudění oleje: 2.krok: 60s/600ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 1.12.2009



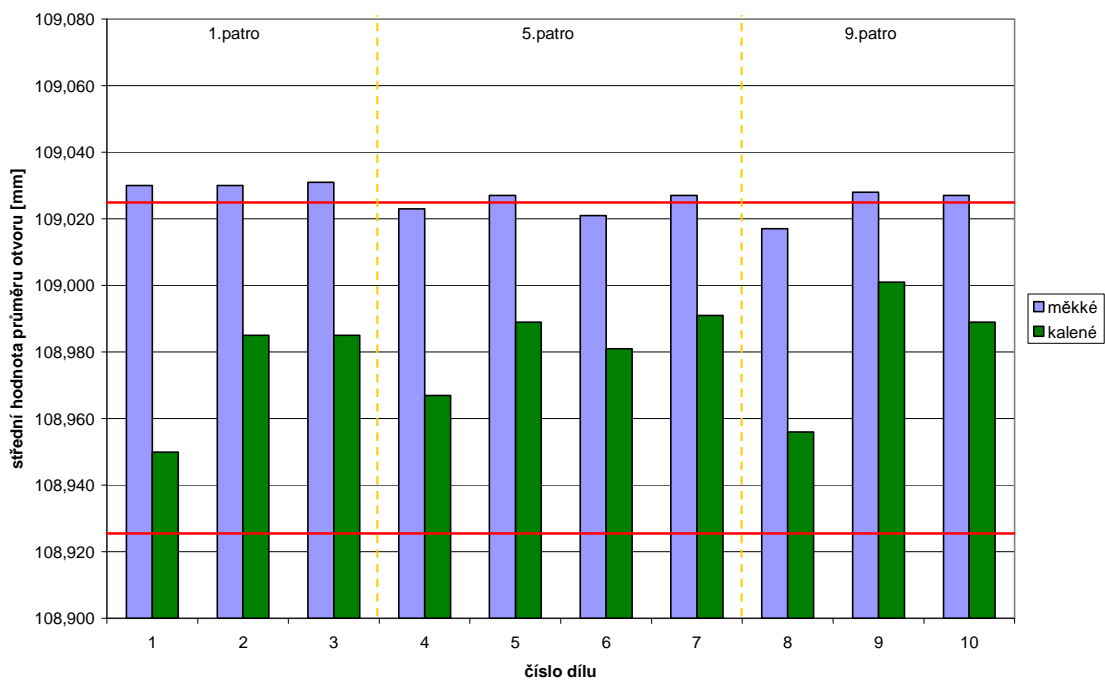
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 1.12.2009



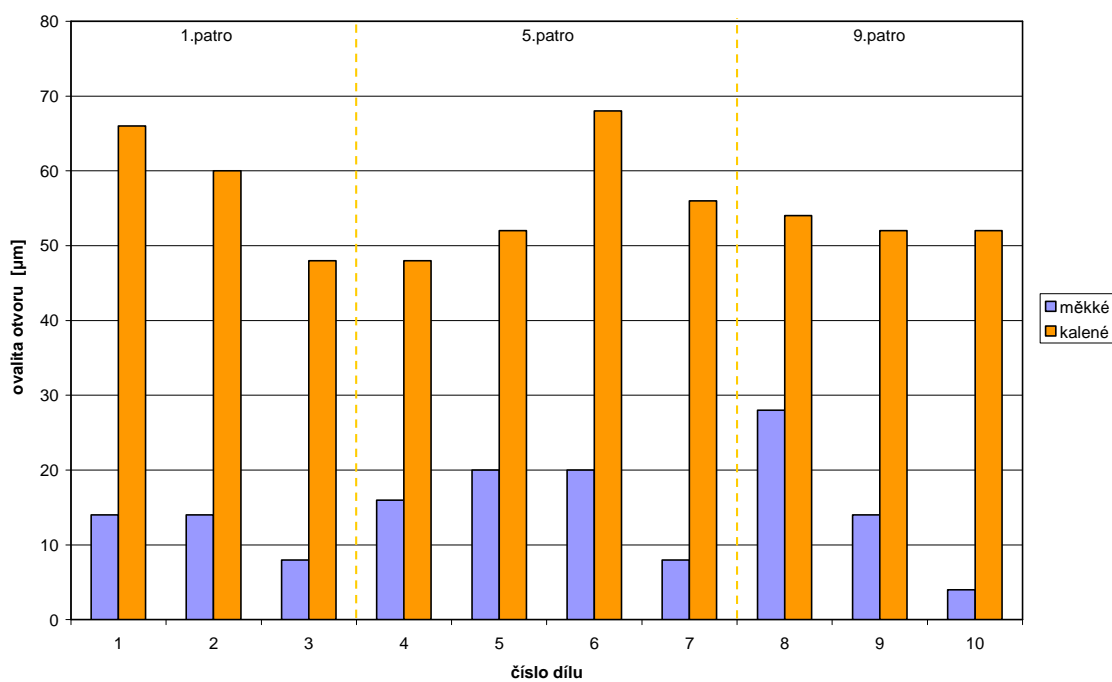
Experiment č. 9:

proudění oleje: 2.krok: 30s/600ot, 3.krok: 700ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 1.12.2009



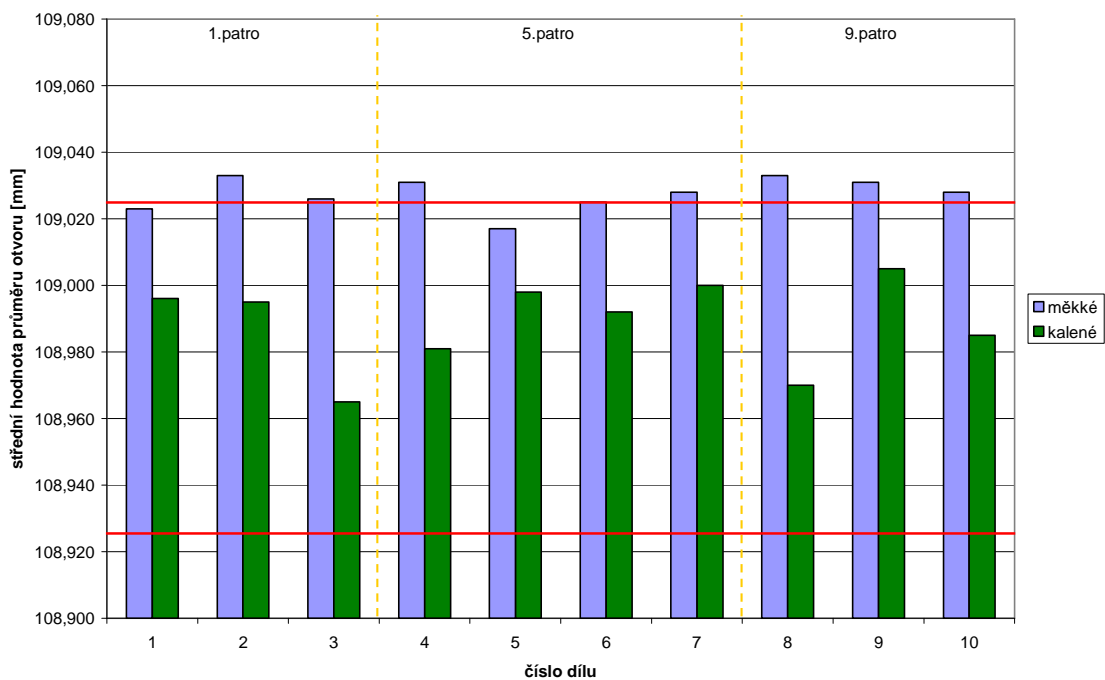
Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 1.12.2009



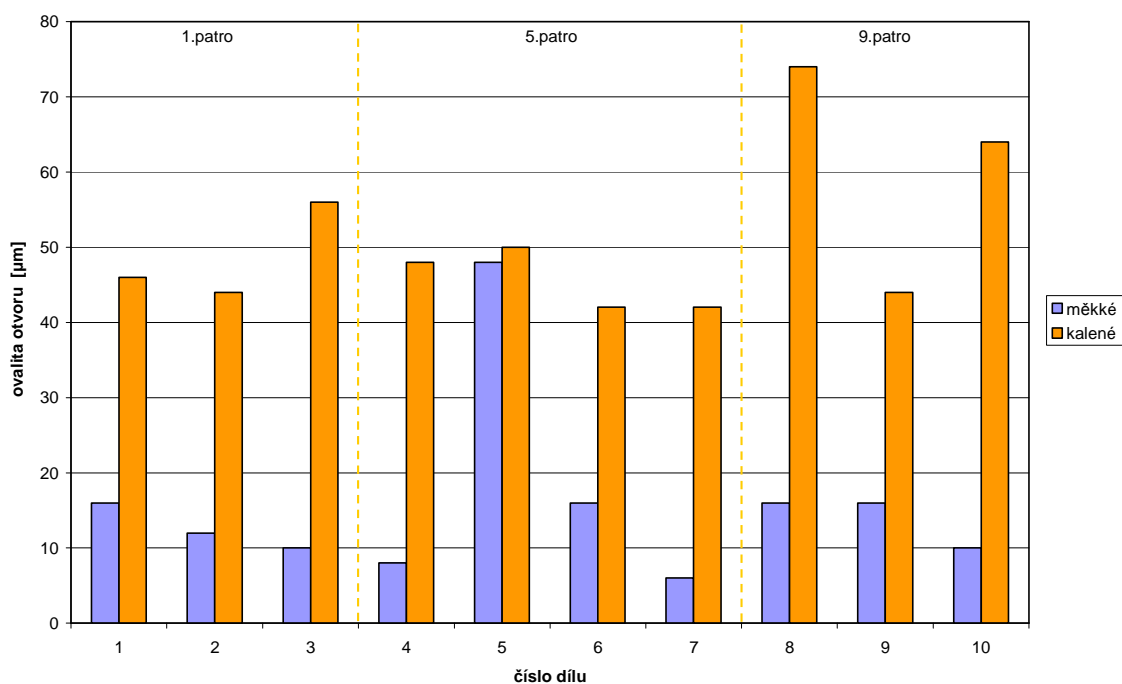
Experiment č. 10:


proudění oleje: 2.krok: 30s/600ot, 3.krok: 1400ot
 vsázková pec č.: 1
 tavba: A01
 teplota kalení: 850°C

Střední hodnoty průměru otvoru dílů 02T 409 156H - 2.12.2009



Ovalita otvoru dílů 02T 409 156H - 2.12.2009



 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3259/09 Laborbericht Nr.		Lief/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	6
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	19.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	715	720
	710	720

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	427
střed zubu	436

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,83
bok zubu-proti	CHD550 = 0,83
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,71

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3259

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA

jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury


IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 26.11.09	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 malto.dana.kalinova@skoda-auto.cz		Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.

Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3260/09 Laborbericht Nr.		Lief/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	16
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	19.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	710	705
	705	710

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	406
střed zubu	415

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,87
bok zubu-proti	CHD550 = 0,87
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,74

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3260

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 26.11.09	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 malto.dana.kalinova@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3261/09 Laborbericht Nr.		Lief/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	26
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	19.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	705	700
	705	705

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	420
střed zubu	432

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,83
bok zubu-proti	CHD550 = 0,84
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,75

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3261

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 26.11.09	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 malto.ivana.ruzanska@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3316/09 Laborbericht Nr.		Lief/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	36
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	26.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	705	710
	705	710

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	420
střed zubu	429

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,81
bok zubu-proti	CHD550 = 0,82
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,69

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3316

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 2.12.09	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 malto.dana.kalinova@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3317/09 Laborbericht Nr.		
	List/Blatt 1/1		
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	46
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	26.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	700	710
	705	700

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	404
střed zubu	427

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

<i>Metodou: CHD550</i> <i>Předpis: 0,6 + 0,3 mm</i>	
bok zubu	CHD550 = 0,82
bok zubu-proti	CHD550 = 0,82
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,63

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3317

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 2.12.09	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 malto.ivana.ruzanska@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
 Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3349/09 Laborbericht Nr.		List/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	56
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	30.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	715	710
	715	710

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	402
střed zubu	415

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,78
bok zubu-proti	CHD550 = 0,79
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,70

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3349

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 4.12.09	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 malto.dana.kalinova@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3350/09 Laborbericht Nr.		
	List/Blatt 1/1		
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	66
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	30.11.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	715	720
	715	715

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	411
střed zubu	418

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,76
bok zubu-proti	CHD550 = 0,77
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,64

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3350

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 4.12.09	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 malto.ivana.ruzanska@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3364/09 Laborbericht Nr.		
	List/Blatt 1/1		
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	76
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	2.12.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	710	710
	715	715

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	427
střed zubu	436

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,81
bok zubu-proti	CHD550 = 0,80
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,73

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3364

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 4.12.09	Vypracoval Erarbeitet	KALINOVÁ Dana Tel. +420 326 812220 malto.dana.kalinova@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3365/09 Laborbericht Nr.		Lief/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	86
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	2.12.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	705	715
	715	715

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	425
střed zubu	434

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC (informativní)	-	-
	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,79
bok zubu-proti	CHD550 = 0,79
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,66

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3365

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 30% ZA


jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 4.12.09	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 malto.ivana.ruzanska@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

 ŠKODA AUTO a.s. 293 60 Mladá Boleslav VAH/3 Metalurgická laboratoř VAH/3 Metallurgisches Labor	Protokol o zkoušce č. M 3366/09 Laborbericht Nr.		List/Blatt 1/1
Název dílu	HNANÉ KOLO ROZVODOVKY	Materiál	TL 4521
Číslo dílu	02T 409 156 H	Číslo kusu	96
Zpráva o dílu	Chemicko-tepelně zpracovaný, kalený	Číslo vsázky/roštu	-
Zadal	PODKOVIČÁK Josef, Ing., VAT/33	Datum přijetí	2.12.09

I. DŮVOD KONTROLY: zkouška - diplomová práce

II. POŽADAVEK: kontrola tepelného zpracování

III. VÝSLEDKY:

1. Tvrdost:

EN ISO 6507-1

Povrch	Předpis: ≥ 680 HV30	
místo měření	tvrdost HV30	
spodní čelo věnce	705	710
	700	710

Jádro	Předpis - pata zubu 400 + 100 HV30
místo měření	tvrdost HV30
pata zubu	427
střed zubu	434

EN ISO 6508-1

Tvrdost HRC	-	-
(informativní)	-	-

2. Povrchová vrstva - hloubka: EN ISO 2639

Metodou: CHD550 Předpis: 0,6 + 0,3 mm	
bok zubu	CHD550 = 0,83
bok zubu-proti	CHD550 = 0,83
zub. mezera /bez předpisu/	CHD550 = 0,67

3. Struktura materiálu

Výbrus číslo: 3366

Popis: vrstva /zubu/ - martenzitický charakter struktury s cca 25-30% ZA

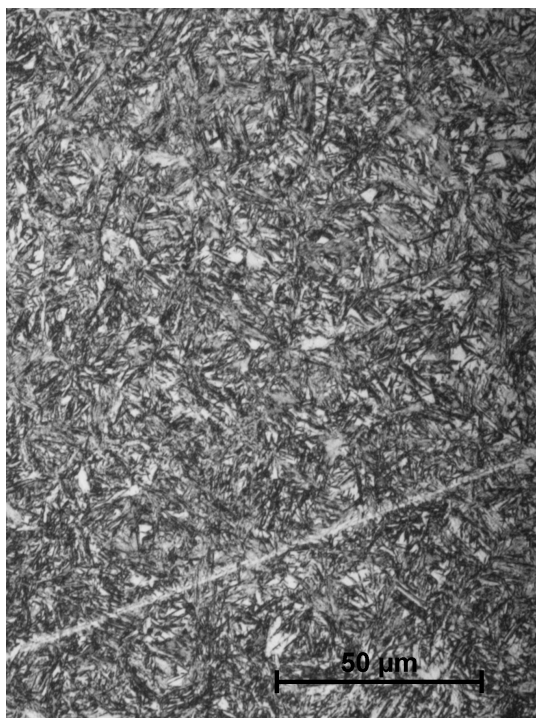
jádro - bainiticko-martenzitický charakter struktury

IV. ZÁVĚR:

Tepelné zpracování dodaného dílu vyhovuje VW 500 19 a požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělovník Verteiler	Podkovičák Josef VAT-3				
Datum 4.12.09	Vypracoval Erarbeitet	RUŽANSKÁ Ivana Tel. +420 326 812220 malto.ivana.ruzanska@skoda-auto.cz	Vedení laboratoře Labor-Leitung	VENERA Petr Tel. +420 326 812935 malto.petr.venera@skoda-auto.cz	

Podepsaný originál protokolu je v případě potřeby k nahlédnutí v laboratoři.
 Der Unterschriebene Originalbericht kann im Bedarfsfall im Standortlabor eingesehen werden.

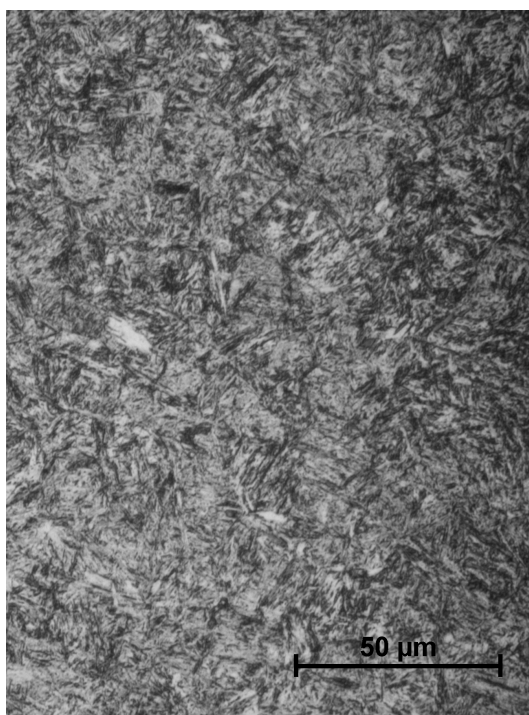


vrstva



jádro

čas a otáčky: 60s/0ot/700ot



vrstva



jádro

čas a otáčky: 60s/0ot/1400ot

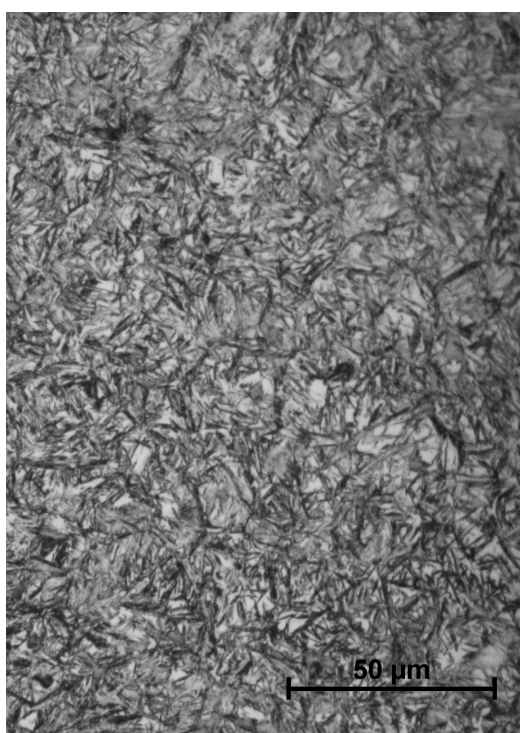


vrstva



jádro

čas a otáčky: 60s/900ot/1400ot

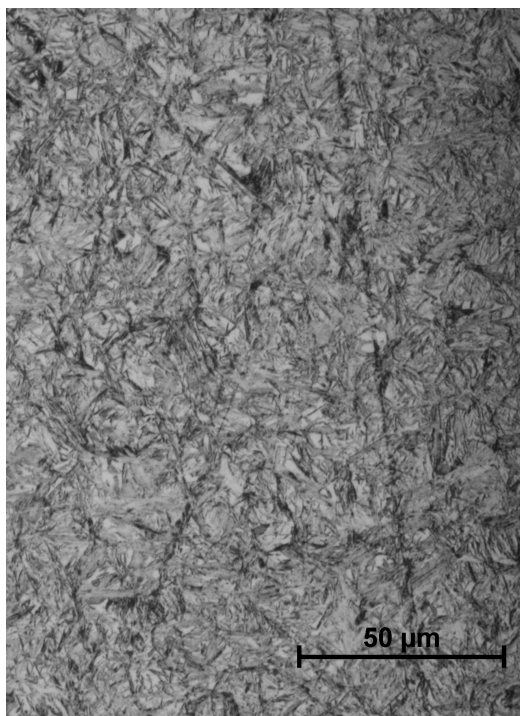


vrstva

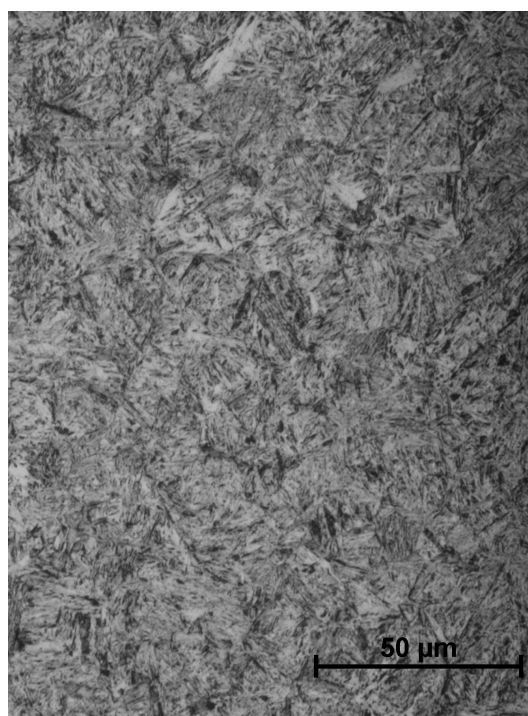


jádro

čas a otáčky: 30s/0ot/700ot



vrstva



jádro

čas a otáčky: 30s/0ot/1400ot

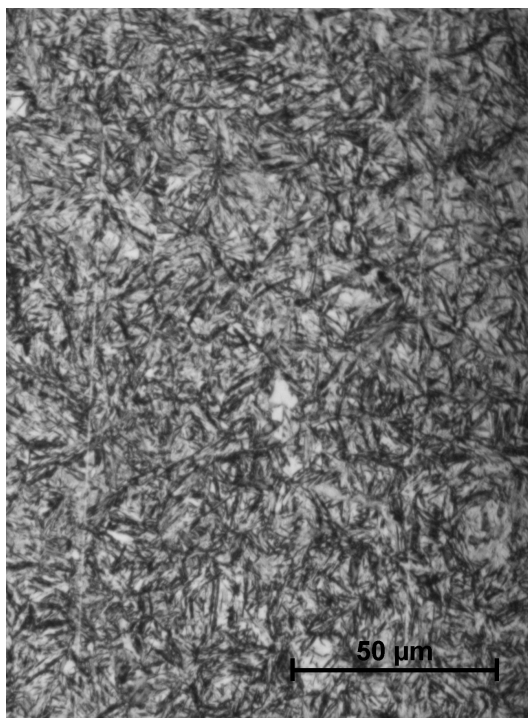


vrstva



jádro

čas a otáčky: 30s/900ot/1400ot

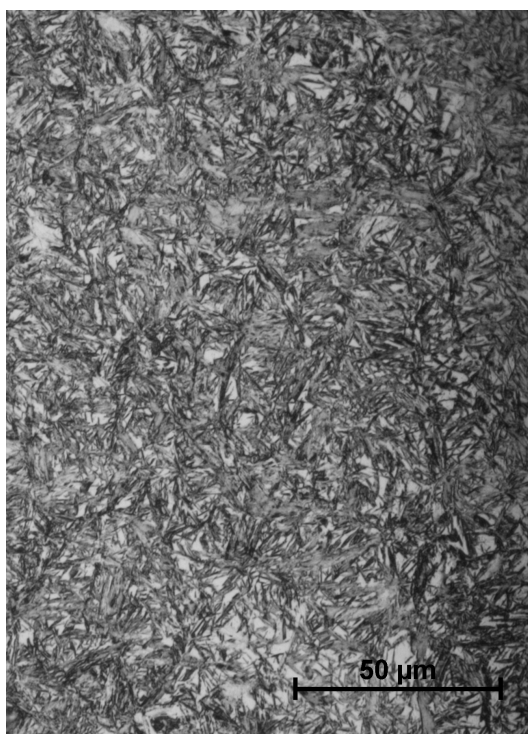


vrstva



jádro

čas a otáčky: 60s/600ot/700ot

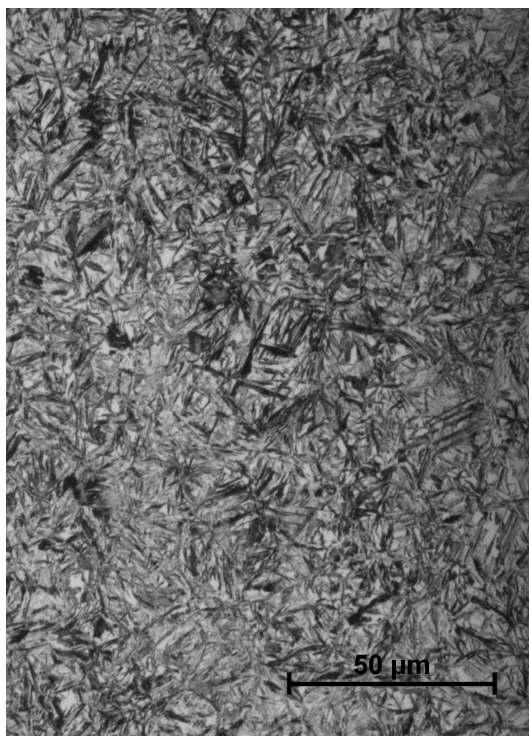


vrstva



jádro

čas a otáčky: 60s/600ot/1400ot



vrstva

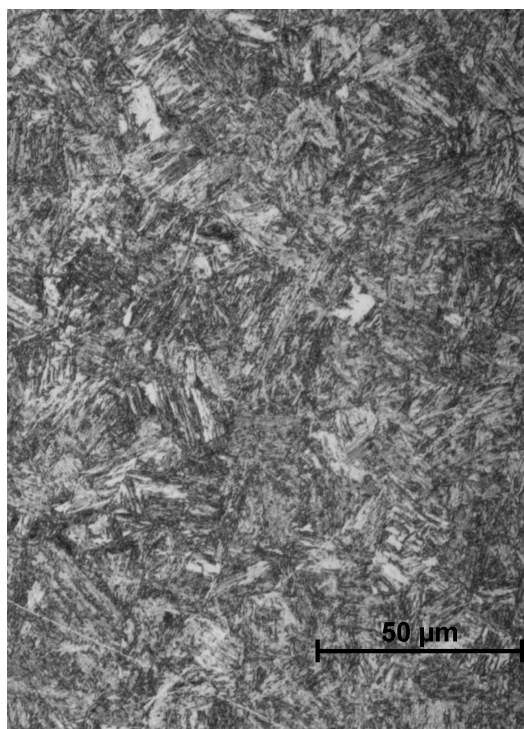


jádro

čas a otáčky: 30s/600ot/700ot



vrstva



jádro

čas a otáčky: 30s/600ot/1400ot